

Encabezado: Plan de Mantenimiento equipos rotativos UNIPAZ

***ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS
ROTATIVOS DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ UNIPAZ***

POR
EDGAR SOCHA RUEDA

UNIVERSIDAD EAFIT
MAGISTER EN INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA
MEDELLÍN - ANTIOQUIA - COLOMBIA
JUNIO – 2020

***ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS
ROTATIVOS DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ UNIPAZ***

POR

EDGAR SOCHA RUEDA

DIRECTOR

PH.D. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

MAGISTER EN INGENEIRÍA

TRABAJO DE GRADO

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

MEDELLÍN - ANTIOQUIA - COLOMBIA

JUNIO - 2020

CONTENIDO

Sección 0 – Prólogo	9
Aparte 1 - Sección 0 - Introducción	10
Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 – Objetivos.	10
<i>Elementos 1 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 – General.....</i>	<i>11</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 – Específicos.....</i>	<i>11</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - UNO – Fundamentos.....</i>	<i>11</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - DOS – Caracterización</i>	<i>12</i>
<i>Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - TRES – Táctica</i>	<i>12</i>
<i>Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CUATRO – Plan de Gestión de Mantenimiento.....</i>	<i>12</i>
<i>Elemento 7 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CINCO – Conclusiones.</i>	<i>12</i>
Aparte 2 - Sección 0 - Estructura del proyecto	15
Aparte 3 - Sección 0 - Justificación	16
Aparte 4 – Sección 0 – Antecedentes.....	16
Aparte 5 - Sección 0 - Conclusiones de la sección 0	17
Sección 1 - Fundamentos.....	18
Aparte 1 - Sección 1 - Objetivo número 1	18
Aparte 2 - Sección 1 - Introducción capítulo 1	18
Aparte 3 - Sección 1 - Desarrollo de sección 1	18
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Conceptos y generalidades del mantenimiento.	18
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 1 – Evolución del mantenimiento.....</i>	<i>19</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 1 – Principales conceptos y fundamentos.</i>	<i>24</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Objetivos del Mantenimiento.</i>	<i>29</i>
<i>Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Niveles de Mantenimiento..</i>	<i>30</i>
<i>Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Tipos de Mantenimiento. ...</i>	<i>32</i>
<i>Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Proceso de Gestión de Mantenimiento.</i>	<i>43</i>
Aparte 4 Sección 1 - Conclusiones de la sección 1.....	48
Sección 2 - Caracterización.....	49
Aparte 1 - Sección 2 - Objetivo número 2	49
Aparte 2 - Sección 2 - Introducción Sección 2	49
Aparte 3 - Sección 2 - Desarrollo de capítulo 2.....	49
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 2 – Conceptos y generalidades de indicadores CMD	49
Artículo 2 del Aparte 3 Sección 2 – Confiabilidad.	51
Artículo 3 del Aparte 3 Sección 2 – Mantenibilidad.	54
Artículo 4 del Aparte 3 Sección 2 – Disponibilidad.....	56
Aparte 2 Sección 2 - Conclusiones de la sección 2.....	57

Sección 3 – Táctica	58
Aparte 1 - Sección 3- Objetivo número 3	58
Aparte 2 - Sección 3 - Introducción Sección 3	58
Aparte 3 - Sección 3 - Desarrollo de capítulo 3	59
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 3 – Acciones y tácticas adecuadas	59
<i>Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 – Etapa 1.....</i>	<i>60</i>
<i>Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 – Etapa 2.....</i>	<i>73</i>
<i>Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 – Etapa 3.....</i>	<i>81</i>
Sección 4 – Plan Gestión de Mantenimiento.....	104
Aparte 1 - Sección 4- Objetivo número 4	104
Aparte 2 - Sección 4 - Introducción Sección 4	104
Aparte 3 - Sección 4 - Desarrollo de capítulo 4	104
Artículo 1 del Aparte 3 Sección 4 – Conceptos y generalidades de TPM.....	104
Artículo 2 del Aparte 3 Sección 4 – Desglose de la implementación del Plan de	
Gestión del Mantenimiento basado en TPM en UNIPAZ	105
<i>Elemento 1 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 1 Anuncio de la</i>	
<i>alta dirección</i>	<i>106</i>
Aparte 4 - Sección 4 – Conclusiones de la sección 4.....	118

Figuras

	Pág.
Figura 1. Secuencia lógica de Objetivos, hecha con base en escala de Bloom & Gagné	13
Figura 2. Verbos para configurar objetivos.....	14
Figura 3. Verbos para configurar objetivos.....	14
Figura 4. Nivel de Profundidad de la Escala Bloom y Gagné	15
Figura 5. Evolución del Mantenimiento 120.000 A.C. hasta 1945.....	20
Figura 6. Evolución del Mantenimiento 1950 hasta 2020	22
Figura 7. Evolución del Mantenimiento.....	23
Figura 8. Representación de la dinámica de un Sistema de Mantenimiento.....	27
Figura 9. Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico	30
Figura 10. Enfoque Sistémico Integral Kantiano de Mantenimiento Estratégico.....	32
Figura 11. Ocho pilares que soportan el sistema TPM	40
Figura 12. Modelo para la definición de la estrategia de mantenimiento	47
Figura 13. Principios más importantes en la gestión de mantenimiento	48
Figura 14. Curva de Davies, acciones y tácticas adecuadas, acorde al valor del Beta.....	59
Figura 15. Planta Generadora de Energía Eco Power	60
Figura 16. Planta Generadora de Energía Power Max	60
Figura 17. Planta Generadora de Energía Stewart y Stevenson.....	60
Figura 18. Planta Generadora de Energía Eco Horse.....	60
Figura 19. Electrobomba- Pedrollo Hmax110	61
Figura 20. Electrobomba- Pedrollo Hmax56	61
Figura 21. Electrobomba - Agua Park - 601 GPM.....	61
Figura 22. Electrobomba Barnes 2Hp	61
Figura 23. Aire Acondicionado Inverter tipo cassette 53.900Btu	61
Figura 24. Aire Acondicionado Inverter Tipo Casette 36.000 Btu	61
Figura 25. Aire Acondicionado Gold Tipo Ventana 12.000Btu	62
Figura 26. Aire Acondicionado Inverter Piso Techo 60.000Btu	62
Figura 27. Aire Acondicionado Inverter Tipo Mini Split 24.000Btu	62
Figura 28. Mapa Planta Generadora de Energía Stewart y Stevenson.....	72
Figura 29. Segunda etapa de disponibilidad a usar en predicción CMD	73
Figura 30. Cálculos Correctivos planta generadora de energía.....	76
Figura 31. Cálculos Preventivos Planta generadora de energía	79
Figura 32. Cálculo de la disponibilidad alcanzada – método puntual.....	80
Figura 33. Tercera etapa de parametrización y alineación de Weibull, o de uso de MLE.....	81
Figura 34. Tabla 22. Weibull - No confiabilidad - Planeada MTBMP.....	96
Figura 35. Estimación de Parámetros No confiabilidad.....	97
Figura 36. Mantenibilidad Planeada MP Pruebas y cálculos de regresión	98
Figura 37. Estimación de Parámetros Mantenibilidad planeada	99
Figura 38. Resultados generales con distribuciones.....	100
Figura 39. Formato acta de reunión con la Alta Dirección	107
Figura 40. Formato de registro para la Sensibilización a todo el personal de la Institución...	107
Figura 41. Organización Piramidal	108

Figura 42. Formato de Inventario de Equipos.....	109
Figura 43. Ficha Técnica de los Equipos	110
Figura 44. Inventario de Manuales de Equipos.....	111
Figura 45. Formatos Diagrama Analítico de Proceso DAP	113
Figura 46. Formato Hoja de Vida del Equipo	114
Figura 47. Formato Orden de Mantenimiento.....	115
Figura 48. Hoja de registro de mantenimiento preventivo y correctivo.....	115
Figura 49. Formato Auditoría de Mantenimiento	116
Figura 50. Formato Checklist Área de Trabajo.....	117

Tablas

Tabla 1. Niveles	13
Tabla 2. Actividades Básicas del Mantenimiento	28
Tabla 3. Lista de fallas de los equipos rotativos 2018-2019	63
Tabla 4. Tabla de frecuencias de mantenimiento en plantas generadoras de energía agrupadas por problema	66
Tabla 5.Tabla de frecuencias de mantenimiento en electrobombas agrupadas por problema o situación	66
Tabla 6. Tabla de frecuencias de mantenimiento en equipos de aire acondicionado agrupados	67
Tabla 7.Tabla de frecuencias de mantenimiento en plantas generadoras de energía agrupadas por causa	67
Tabla 8. Tabla de frecuencias de mantenimiento en electrobombas agrupadas por causa	68
Tabla 9.Tabla de frecuencias de mantenimiento en equipos de aire acondicionado agrupados por causa	68
Tabla 10. No Confiabilidad - No Planeada	83
Tabla 11. Mantenibilidad	84
Tabla 12.Confiabilidad Correctiva.....	85
Tabla 13. Mantenibilidad Correctiva	86
Tabla 14. Confiabilidad – Planeada	87
Tabla 15. No Mantenibilidad - Planeada.....	88
Tabla 16. No Confiabilidad Planeada	89
Tabla 17. Mantenibilidad Planeada.....	90
Tabla 18.Weibull - No confiabilidad - Correctiva MTBMC	91
Tabla 19.Weibull - Estimación de Parámetros.....	92
Tabla 20.Weibull - Mantenibilidad - Correctiva MTTR.....	93
Tabla 21. Mantenibilidad Correctiva	94

Sección 0 - Prólogo

La elaboración de un plan de gestión mantenimiento del Instituto Universitario de la Paz, se traduce en la importancia de contar con equipos en condiciones adecuadas de funcionamiento, esenciales para mantener la confiabilidad y disponibilidad de éstos, y así mismo, aumentar la productividad y durabilidad de la máquina y reducir al máximo las fallas que puedan presentarse.

Además, el correcto funcionamiento de los equipos va a permitir que las actividades propias del actuar misional de UNIPAZ, docencia, investigación y proyección social se lleven a cabo con normalidad.

Todo lo anterior, motiva el uso de una herramienta informática para automatizar el registro de la información de mantenimiento y gestión de activos que facilite y garantice las tareas con el fin de reducir de forma significativa la duplicidad de la información, mejorar la calidad de los procesos, facilitar el acceso a la información de forma ágil, oportuna y confiable, e incrementar la productividad.

El desarrollo del proyecto comprende la definición de conceptos claves, descripción de los indicadores CMD, selección de la metodología estándar a utilizar, y la elaboración del plan de gestión de mantenimiento que incluye el uso de hojas en Excel para el registro de información de los equipos.

Aparte 1 - Sección 0 - Introducción

La gestión del mantenimiento no es un proceso aislado, sino que es un sistema linealmente dependiente de factores propiamente ligados a la gestión del mantenimiento, así como de factores internos y externos a la organización. De hecho, la situación más deseable es la completa integración de la gestión del mantenimiento dentro del sistema (*Viveros, Stegmaier, & Kristjanpollé, 2013*).

La implementación de un plan de gestión de mantenimiento para el Instituto Universitario de la Paz, responde al Plan Nacional de Desarrollo 2012-2021 de la Institución, y específicamente al componente denominado “Infraestructura Física y Dotación Institucional” en donde define como objetivo “Diseñar e implementar un plan de mantenimiento del recurso físico”. Lo anterior, va acompañado del uso de una herramienta informática que permite sistematizar los procesos propios del área de Servicios Generales oficina encargada en UNIPAZ de velar por el correcto funcionamiento de los equipos, y de la realización de los mantenimientos preventivos y correctivos, tareas de gran importancia porque ayudan a que las actividades de las diferentes dependencias administrativas y académicas se realicen de forma ininterrumpida.

Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 – Objetivos.

Los objetivos son uno de los factores principales en la elaboración de un proyecto ya que permite comprender y definir en una forma integral el objetivo general y los objetivos específicos. Para la elaboración del presente proyecto se debe partir de dos temas centrales como lo es el objetivo general, donde se da cobertura a la generalidad macro del proyecto, el segundo son los objetivos específicos donde se abordan aquellos puntos que permitirá alcanzar el objetivo general. Los objetivos son el eje en torno al cual se define un proyecto y la metodología a ser

aplicada. Cuyo propósito de la investigación es lograr alcanzar las metas que se propone en el proyecto. Por lo general, los objetivos están alineados con el campo de conocimiento específico en que está direccionado el trabajo, y buscan ampliar los conocimientos y metodologías que se han propuesto en torno al estudio que se esté realizando.

Elementos 1 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 – General.

Elaborar un plan de gestión de mantenimiento de equipos rotativos que permita obtener altos indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad al menor costo posible.

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 – Específicos.

Para lograr concretar los objetivos del presente trabajo se debe hacer con base en la metodología de Bloom & Gagné, que consiste en tres partes fundamentales, que son: verbo (en infinitivo y tercera persona; solo se usa uno por objetivo), acción (que es donde se aplica le verbo) y los condicionantes (tales como: porqué, para qué, dónde, qué, cuándo, dónde, etcétera; se colocan solamente los necesarios). A su vez para la utilización de verbos, se tienen en la escala de Bloom y Gagné, niveles diferentes que son estructurados, acorde al nivel deseado, lo cual cubre varias escalas, en su orden.

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - UNO – Fundamentos.

Definir los conceptos claves en el ámbito del mantenimiento que permitan unificar criterios para la implementación del plan de gestión de mantenimiento para equipos rotativos en UNIPAZ. Nivel uno Conocer - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - DOS – Caracterización

Describir los indicadores de confiabilidad, mantenimiento y disponibilidad bajo estándares internacionales que brinde las herramientas necesarias para elaborar el plan de gestión de mantenimiento. Nivel dos Comprender - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - TRES – Táctica

Aplicar la táctica de mantenimiento adecuada a las circunstancias específicas de UNIPAZ, para controlar la gestión y operación integral del mantenimiento que permita evaluar eficazmente la operatividad de los equipos. Nivel tres Aplicar - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CUATRO – Plan de Gestión de Mantenimiento

Desglosar el plan de gestión de mantenimiento para equipos rotativos que identifiquen las fases o etapas a seguir para su correcta implementación, analizado por el método TPM. Nivel cuatro Analizar - Escala de Bloom & Gagné.

Elemento 7 del Artículo 1 del Aparte 1 Sección 0 - CINCO – Conclusiones. Presentar los principales resultados obtenidos.

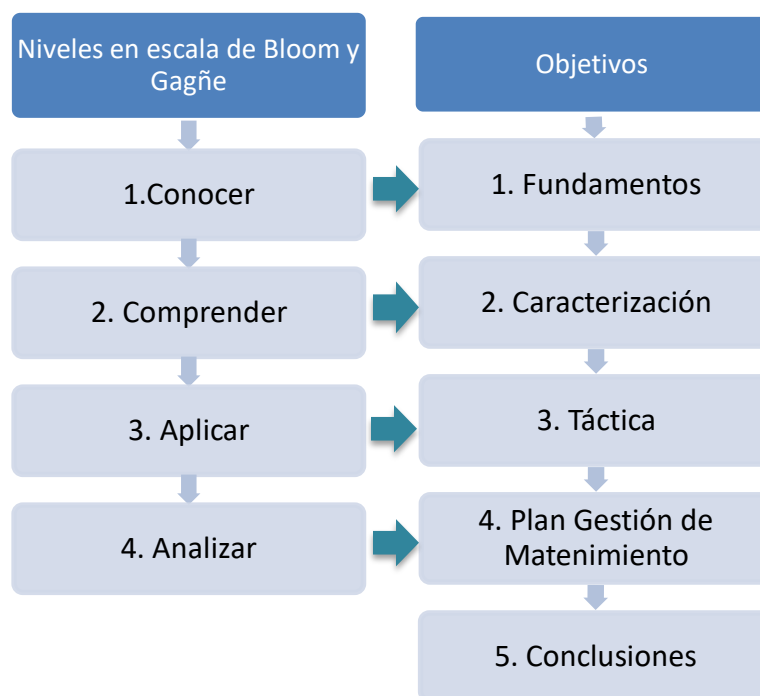


Figura 1. Secuencia lógica de Objetivos, hecha con base en escala de Bloom & Gagné

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 1. Niveles

<i>Orden secuencial de Títulos</i>	<i>Nivel Bloom Gagné</i>	<i>Título del Capítulo</i>
1- Uno	Conocer	Fundamentos
2- Dos	Comprender	Caracterización
3- Tres	Aplicar	Táctica
4- Cuatro	Analizar	Plan Gestión Mantenimiento
5- Conclusiones		Conclusiones

Fuente: (Elaboración propia, 2020)

Verbs que se recomiendan para montar objetivos en los proyectos de investigación, tesis, tesinas o proyectos de fin de carrera					6
					JUZGAR
			4	5	Juzgar
			ANALIZAR	SÍNTETIZAR	Evaluar
			Distinguir, Analizar	Planear, Proponer	Clasificar
			Diferenciar	Diseñar	Estimar
			Calcular, Probar	Formular	Seleccionar
			Experimentar	Reunir	Valorar
			Comparar, Criticar	Construir, Crear	calificar
			Constatar, Discutir	Establecer	Escoger
			Diagramar, Debatir	Organizar	Medir
			Inspeccionar, Catalogar	Dirigir, Preparar	
1	2	3			
CONOCER	COMPRENDER	APLICAR			
Definir	Interpretar	Aplicar			
Repetir	Traducir	Emplear			
Registrar	Reafirmar	Utilizar			
Memorizar	Describir	Demostrar			
Nombrar	Reconocer	Practicar			
Relatar	Explicar	Ilustrar			
Subrayar	Expresar, Revisar	Operar, Dibujar			
Identificar	Ubicar, Informar	Programar Esbozar			

Figura 2. Verbos para configurar objetivos

Fuente: (Zapata, 2017)

MEMORIZACION	COMPRENSIÓN	ANALISIS	SINTESIS	APLICACION	EVALUACION
Anotar	Agregar	Analizar	Arreglar	Agrupar	Apreciar
Citar	Asociar	Calcular	Catalogar	Aplicar	Asesorar
Contar	Clasificar	Comparar	Combinar	Calcular	Calificar
definir	Comparar	Contrastar	Construir	Demostrar	Comprobar
Dibujar	Contrastar	Criticar	Crear	Dibujar	Conceptualizar
Escribir	Describir	Debatir	Desarrollar	Dramatizar	Controlar
Hacer lista	Diferenciar	Descomponer	Dirigir	Emplear	Criticar
Identificar	Discriminar	Desglosar	Diseñar	Esbozar	Determinar
Indicar	Discutir	Detectar	Establecer	Examinar	Escoger
Leer	Distinguir	Diagramar	Estructurar	Graficar	Estimar
Memorizar	Explicar	Diferenciar	Formular	Ilustrar	Evaluar
Nombrar	Expresar	Discutir	Generalizar	Interpretar	Examinar
Nombrar	Extrapolar	Distinguir	Integrar	Operar	Indicar
Recitar	Identificar	Especificar	Investigar	Ordenar	Juzgar
Registrar	Informar	Examinar	Organizar	Practicar	Manifestar
Repetir	Interpoliar	Experimentar	Planear	Programar	Medir
Señalar	Interpretar	Explicar	Preparar	Resolver	Probar
Subrayar	Reafirmar	Indagar	Prescribir	Usar	Recomendar
Trazar	Reconocer	Inferir	Producir	Utilizar	Revisar
	Relacionar	Inspeccionar	Proponer		Seleccionar
	Relatar	Investigar	Resumir		Sustentar
	Revisar	Probar	Reunir		Valorar
	Tabular	Separar			
	Traducir				
	Ubicar				

Figura 3. Verbos para configurar objetivos

Fuente: (FI-UPB, 2009)

Este proyecto se desarrolla con base en la metodología y niveles de Bloom & Gagné. Los niveles que se plantean son; conocer, comprender, aplicar, registrar y analizar, de esta manera se logra abordar los temas concretos en cada nivel que permitirá diseñar la táctica apropiada para una mayor eficiencia operativa de los bienes muebles del Instituto Universitario de la Paz UNIPAZ.

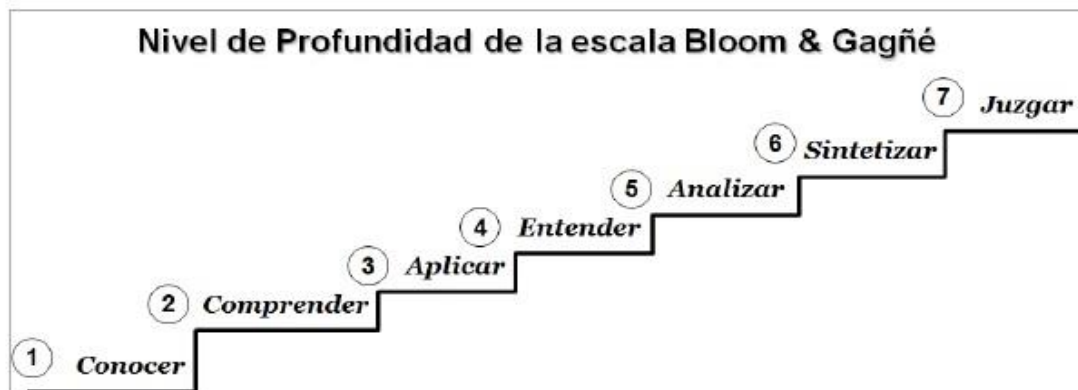


Figura 4. Nivel de Profundidad de la Escala Bloom y Gagné

Fuente: (Zapata, 2017) (Barret&Bloom@, 2012)

Aparte 2 - Sección 0 - Estructura del proyecto

El plan de gestión de mantenimiento de equipos rotativos en UNIPAZ se estructuró en cinco secciones. La primera sección denominada fundamentos, conceptualiza y plantea la importancia de conocer la evolución y los tipos de mantenimiento, entender los procedimientos mínimos necesarios para una adecuada gestión del mantenimiento teniendo en cuenta el ciclo de vida de los equipos. La segunda sección, denominada Indicadores CMD, se presenta desde una concepción sistémica Kantiana integral y bajo estándares internacionales con los principales parámetros universales confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad indicadores claves para la mejora continua. La tercera sección táctica, aborda las normas y reglas a implementar para una buena gestión del mantenimiento. La cuarta sección denominada Plan de Gestión de

Mantenimiento, desglosa las labores de mantenimiento en función de una mayor eficiencia operativa; y por último, la sección cinco, expone las principales conclusiones del desarrollo del proyecto.

Aparte 3 - Sección 0 - Justificación

En la actualidad, las tareas de mantenimiento en UNIPAZ son básicamente reactivas, es decir, los daños y averías que presentan los equipos se corrigen en la marcha, no cuenta con un plan de gestión de mantenimiento que permita aumentar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos; lo que entorpece el buen desarrollo de las actividades académicas y administrativas.

El uso de una táctica adecuada, va a permitir reducir costos de mantenimiento, involucrar a todo el personal de la empresa, incrementar la disponibilidad de los equipos, y optimizar las tareas de mantenimiento para una mayor eficiencia operativa.

Aparte 4 – Sección 0 – Antecedentes

El Instituto Universitario de la Paz UNIPAZ es una institución de Educación Superior de orden departamental con más de 31 años de servicio en el Magdalena Medio, ubicada en zona rural del municipio de Barrancabermeja, con más de 370 hectáreas de extensión, y con una infraestructura física conformada por: tres edificios (Administrativo, Centro de Información, y Aulas), diez laboratorios y núcleos de producción para la realización de las prácticas académicas.

Como institución pública, elabora en cada vigencia el plan de acción donde se identifican objetivos, estrategias, proyectos, metas, responsables y planes generales de compra; en ese sentido las compras y el mantenimiento de los equipos se definen al iniciar el año. Si algún equipo presenta alguna falla o avería que permita su reparación in situ, se realiza, de lo contrario es sacado de funcionamiento. Si el costo de su reparación excede el valor de la caja menor de la oficina de servicios generales, el equipo es almacenado a la espera de la respectiva aprobación por parte del Rector de la institución en la elaboración de un contrato para el mantenimiento correctivo y/o realizar el procedimiento de baja.

La falta de la implementación de un plan de gestión de mantenimiento en la institución se ha convertido en un problema, pues impide el normal desarrollo de las labores propias del objeto misional de UNIPAZ, docencia, investigación y proyección social.

Aparte 5 - Sección 0 - Conclusiones de la sección 0

La sección 0 describe y ordena las ideas acerca de lo que se va a presentar dentro de este proyecto, conociendo toda la estructura y los objetivos alcanzables dentro del mismo.

Además, se quiere presentar el contexto empresarial donde se deja en evidencia las oportunidades de mejora que tiene una organización en el área de mantenimiento y el camino que debe emprender para alcanzar su objetivo misional.

Es importante emplear herramientas, métodos, análisis de carácter científico que permita explotar al máximo la Ingeniería de Mantenimiento para evolucionar y mejorar los entornos de producción académica.

Sección 1 - Fundamentos

Aparte 1 - Sección 1 - Objetivo número 1

UNO - Fundamentos – Registrar sobre la evolución del mantenimiento, tipos y niveles del mantenimiento, situación actual de la gestión del mantenimiento, normativa para el mantenimiento, y la calidad del mantenimiento definido en la norma ISO 9001; Nivel uno
Conocer - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 1 - Introducción capítulo 1

Esta sección aporta los elementos necesarios para conocer la importancia de un buen mantenimiento dentro de las organizaciones, y evidenciar como la evolución se ha caracterizado por la reducción de costos, aumento de la fiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Aparte 3 - Sección 1 - Desarrollo de sección 1

En esta sección se presentan los conceptos y generalidades del mantenimiento desde sus inicios hasta la actualidad que son necesarios para comprender la importancia de éste dentro de las organizaciones y como a través ellos es posible alcanzar los objetivos del proyecto.

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Conceptos y generalidades del mantenimiento.

A continuación, se identifican conceptos y generalidades del mantenimiento y su aplicabilidad en la industria.

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 1 – Evolución del mantenimiento.

Desde la antigüedad el hombre ha diseñado herramientas para satisfacer las necesidades, y solucionar los problemas, en el año 120.000 a.C. las reparaciones a los utensilios se realizaban de forma correctiva, es decir, en el momento de la falla o avería.

En la primera guerra mundial (1914 -.1918) aparece el concepto de mantenimiento preventivo, lo que dio paso a que surgieran las dependencias en mantenimiento. En este período, se aplica la Administración Científica y Henry Fayol desarrolla su modelo de Administración Industrial y General, integrando cuatro elementos: previsión, organización, coordinación y control.

En 1927 las matemáticas fueron implementadas dentro del mantenimiento como indicadores a nivel mundial y en 1937 el economista Vilfredo Pareto da a conocer el “Principio de Pareto” o regla 80/20, cuyo objeto es mejorar la gestión del tiempo, la productividad y por consiguiente la satisfacción del cliente en general. Para la segunda guerra mundial 1939 - 1945 se sistematizan los trabajos de mantenimiento preventivo, y en Estados Unidos de América se empieza a abandonar el Control Estadístico de Calidad (Figura 5).



Figura 5. Evolución del Mantenimiento 120.000 A.C. hasta 1945

Fuente: Elaboración propia

Más adelante en la década de los cincuenta, el mantenimiento evoluciona y la industria de Estados Unidos crea el mantenimiento productivo el cual tiene por objeto producir mayor cantidad y calidad, y no solo protegiendo las máquinas.

Para 1960 se incrementan los accidentes aéreos lo que conlleva a que la Organización ATA Air Transport Association dedicara sus esfuerzos en estudiar el mantenimiento realizado a los aviones, que dio paso al concepto de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En este mismo año Kaoru Ishikawa desarrolla el Círculo de la Calidad (Quality Circle – QC) basado en el estudio del mantenimiento preventivo, estudio que brindó las bases en la creación del Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance, TPM) por parte de Seiichi Nakajima, mantenimiento del cual se apoyan los fabricantes de naves aéreas, para ofrecer al mercado mundial sus naves con seguridad y calidad. En el siguiente año 1961, se empieza a

utilizar el sistema Poka – Yoke, que significa “a prueba de error”, donde se prioriza la seguridad de la vida humana, y cuida la calidad del producto y servicio de las máquinas.

Posteriormente, en 1965 Kepner Tregoe presenta su libro el directivo racional del cual se derivan las bases del actual Análisis – Causa – Raíz (RCA), que permite obtener un buen diagnóstico de las causas de los fallos. En los años setenta, se hace uso de los computadores en las organizaciones para las áreas de producción y mantenimiento, y en esta última área se diseña un software para resolver los problemas de mantenimiento. En 1976 Husband y Dennis Parkes, de Inglaterra traen el concepto denominado Terotecnología el cual involucra los costos en la gestión de mantenimiento bajo la orientación del ciclo de vida de los activos LCC, término que denota la integración de todos los esfuerzos de las etapas de fabricación, producción, explotación, mantenimiento y operación integral de los equipos, para optimizar los rendimientos mediante un excelente mantenimiento bajo un enfoque de costos.

Para 1980, el Instituto para la Investigación de la Energía Eléctrica modifica el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad por la Optimización del Mantenimiento Planificado (Planned Maintenance Optimization - PMO), y en el año 1995, aparece las 5´S., metodología japonesa creada por Hiroyuki Hirano donde cada una de las “S” hace referencia a una acción a realizar para implantar este método: Clasificación, Organización, Limpieza, Estandarizar y Seguir Mejorando. A partir del 2005 hasta la actualidad se empieza a hablar de una nueva filosofía denominada “filosofía de conservación”, basada en principios ecológicos, dando origen al estudio del desarrollo de la Conservación Industrial (IC); en el 2008 se empieza a tercerizar el

mantenimiento dentro de las organizaciones y se aplica el concepto de ingeniería de confiabilidad en el mantenimiento (Figura 6).



Figura 6. Evolución del Mantenimiento 1950 hasta 2020

Fuente: Elaboración Propia

Además de los avances anteriormente descritos, existen en la actualidad tendencias de las que se vale el mantenimiento para alcanzar el óptimo funcionamiento de los equipos industriales como: Confiabilidad y Excelencia Operacional, Gestión Integral de Activos (AM), PAS 55 e ISO 55000, Gestión de Riesgos e Incertidumbre (RBI), Alto nivel de competencias del personal de mantenimiento, Optimización Integral del Mantenimiento (MIO), Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCCA), y Optimización Costo-Riesgo-Beneficio (CRBO).

En la figura 7, se elabora una cronología de la evolución del tipo de mantenimiento.

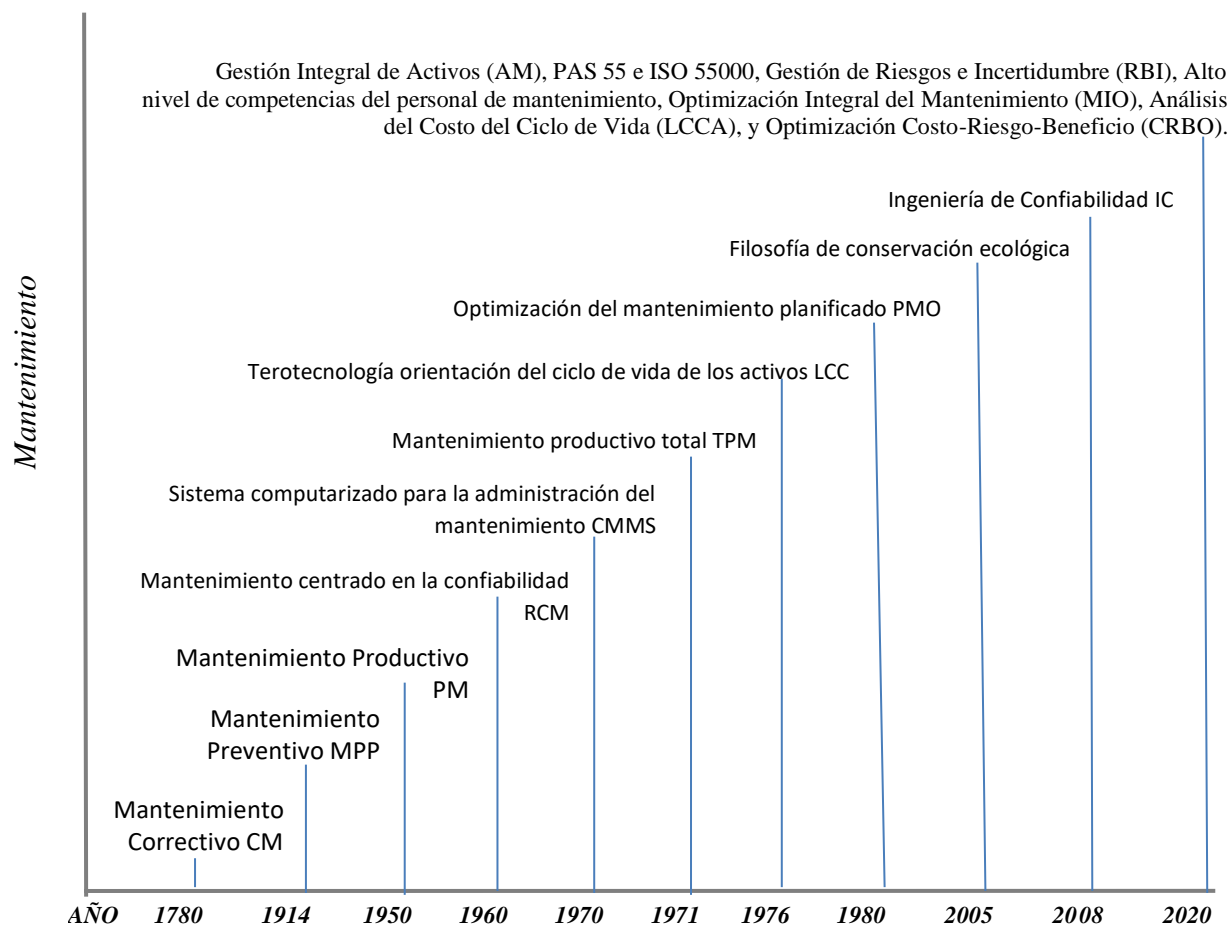


Figura 7. Evolución del Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la Sección 1 – Principales conceptos y fundamentos.

El mantenimiento¹ es el sustantivo correspondiente al verbo mantener. La función concreta de mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios. Estos aparatos no son más que los objetos que genera la ingeniería en sus diferentes versiones. Por ejemplo, la ingeniería mecánica con sus máquinas, la ingeniería civil con edificaciones, puentes, carreteras, instalaciones físicas; la ingeniería eléctrica con sus sistemas de generación o transmisión eléctrica; la ingeniería electrónica con sus sistemas y aparatos electrónicos, etc (Mora, 2009, pág. 4)

El mantenimiento puede ser definido como el conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas. Entendiendo como función cualquier actividad que un componente, equipo o sistema desempeña, bajo el punto de vista operacional (Kardec & Nascif, 2002).

El papel de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que estas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos.

¹ Según la Real Academia Española, se define *mantenimiento* como “el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente”.

Las palabras confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, forman parte de la cotidianidad del mantenimiento. Si se analiza la definición moderna de mantenimiento, se verifica que la misión de este es “garantizar” la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado. (Kardec & Nascif, 2002).

Estos términos han traído consigo una nueva filosofía del mantenimiento, criterios claves para el desarrollo de nuevas tendencias en mantenimiento, razón por la cual, sus definiciones son de gran importancia para el desarrollo del presente trabajo.

La confiabilidad puede ser definida como la "confianza" que se tiene de que un componente, equipo o sistema de funcionamiento de su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, y bajo condiciones de operación. Otra definición importante de confiabilidad es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas (Barusso Lafraia , 2001)

En cuanto a la disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente (Pinto, 1997).

En la fase de diseño de equipos o sistemas, se debe buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo. Dependiendo de la naturaleza de requisitos del sistema, el diseñador puede alterar los niveles de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, de forma a disminuir el costo total del ciclo de vida.

El criterio de mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

En cuanto a las responsabilidades del mantenimiento, en 1975 la Organización de las Naciones Unidas caracterizaba la actividad fin de cualquier entidad organizada como $\text{Producción} = \text{Operación} + \text{Mantenimiento}$, correspondiendo al segundo las siguientes responsabilidades:

- Reducción de la paralización de los equipos que afectan la Operación;
- Reparación, en tiempo hábil, de las ocurrencias que reducen el potencial de ejecución de los servicios;
- Garantía de funcionamiento de las instalaciones de forma que los productos o servicios atiendan a criterios establecidos por el control de calidad y patrones preestablecidos.

El papel de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de

conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que estas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos (Mora Gutiérrez, 1999).

La función que cumple mantenimiento es la de procurar el buen estado de los equipos para la adecuada función de producir bienes en las organizaciones, mediante la sistematización de la información como el medio eficaz para el buen desempeño de la organización (Wireman, Word Class Maintenance Management, 2001) y (Riis, Luxhøj, & Thorsteinsson, 1997).

En Mantenimiento las tareas de planeación, programación, ejecución, construcción de indicadores y comparación, son actividades técnico-administrativas que requieren de una permanente gestión para que los resultados sean satisfactorios y sostenibles en el tiempo (Fig. 8).

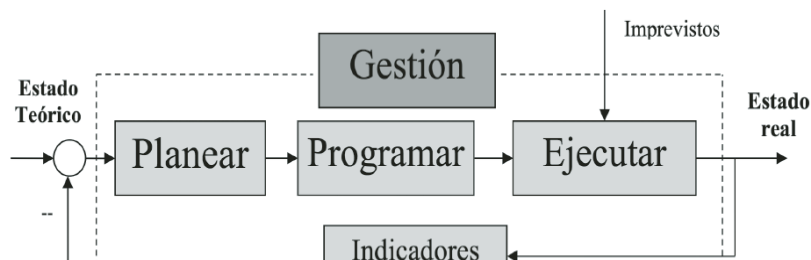


Figura 8. Representación de la dinámica de un Sistema de Mantenimiento

Fuente: (Montilla, 2016)

Teniendo en cuenta la figura anterior, es posible fraccionar las actividades enmarcadas dentro de la dinámica de un Sistema de Mantenimiento

Tabla 2. Actividades Básicas del Mantenimiento

Tipo de actividad	Actividad	Acción básica
Administrativa	Planear	Elección de los sistemas de Mantenimiento a seguir
		Elaborar presupuestos generales
		Recomendar cambio máquinas/equipos
		Seleccionar máquinas/equipos
		Cronograma actividades
Administrativa	Programar	Instrucción actividad
		Insumos, repuestos, herramientas
		Personal ejecutante
		Tiempo de ejecución
Operativa	Ejecutar	Instalar
		Poner a punto (ajustar)
		Calibrar
		Inspeccionar
		Limpiar
		Lubricar
		Cambiar
		Reparar
		Modificar
Operativa	Medir	Recolectar y procesar información de campo
Administrativa		Elaborar indicadores
Administrativa		Registrar actividades desarrolladas
Administrativa	Controlar	Comparar resultados obtenidos versus lo planeado, y tomar decisiones (revisar y ajustar los planes)

Fuente: (Montilla, 2016)

A partir de todas las definiciones planteadas por diferentes autores, es posible afirmar que el mantenimiento en una disciplina transversal al quehacer humano y su aplicación es muy amplio, tocando campos tan diversos como:

- Edificaciones
- Vías terrestres de comunicación
- Electrodomésticos
- Instalaciones eléctricas domiciliarias e industriales
- Maquinaria industrial

- Vehículos de la industria del transporte terrestre de carga y pasajeros
- Maquinaria agrícola
- Equipo de minería y de transporte fuera de carretera
- Agroindustria
- Equipos de informática y telecomunicaciones
- Navegación marítima, aérea y espacial
- Todo tipo de máquinas y artefactos militares
- Equipos médicos entre otros.

En el argot popular del mantenimiento hay un adagio que reza “No hay mejor definitivo que un buen provisional”. En el día a día de la práctica del Mantenimiento hay ocasiones que es necesario “apagar el incendio” de manera rápida y efectiva, pero hay que tener cuidado con ello, porque cada provisional que se deja es un enemigo que se vuelve contra uno, en el momento más inoportuno, por lo tanto, el mensaje es evitar realizar reparaciones provisionales. (Montilla, 2016)

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Objetivos del Mantenimiento.

El objetivo de mantenimiento es: “conseguir un determinado nivel de disponibilidad de producción en condiciones de calidad exigible, al mínimo coste, con el máximo nivel de seguridad para el personal que lo utiliza y lo mantiene y con una mínima degradación del medio ambiente. Al conseguir todos estos puntos se está ante una buena gestión integral de mantenimiento” (Navarro y otros, 1997).

La misión principal del mantenimiento es garantizar que el parque industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiere el cliente (interno y externo) o usuario, con la máxima

confiabilidad, durante el tiempo solicitado para operar, con las velocidades requeridas de los equipos, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimiento de los compradores o usuarios con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible u con los mayores índices de productividad y competitividad posibles, para optimizar su rentabilidad y generar ingresos, involucrar siempre el mejoramiento continuo en todas las facetas, al utilizar las mejores prácticas internacionales y científicas.

(Mora., 2014)

Elemento 4 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Niveles de Mantenimiento.

Se plantean cuatro niveles o categorías al jerarquizar los diferentes tópicos que maneja el enfoque sistémico Kantiano con respecto al mantenimiento (Figura 9).

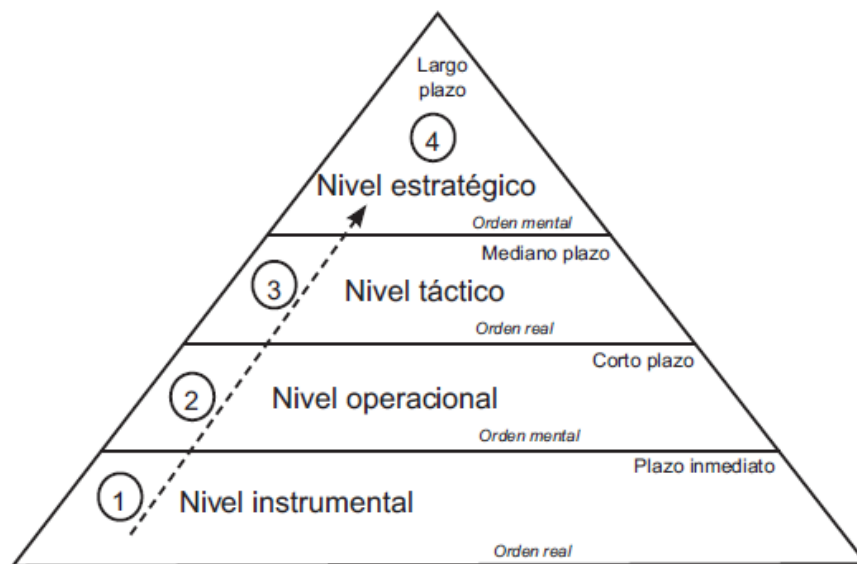


Figura 9. Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico

Fuente: (Mora Gutierrez A. , 2009)

Nivel 1 - Instrumental (funciones y acciones). El nivel instrumental abarca todos los elementos reales requeridos para que exista mantenimiento en las empresas; procura el manejo sistémico de toda la información construida, solicitada en un sistema de mantenimiento en lo referente a las relaciones entre personas, recursos productivos y máquinas. En este nivel también clasifican instrumentos más avanzados como las 5S, el mejoramiento continuo, etc., y herramientas avanzadas específicas y de orden técnico, como análisis de fallas, manejos de inventarios, pronósticos, etc.

Nivel 2 - Operacional (acciones mentales). El nivel operacional comprende todas las posibles acciones por realizar en el mantenimiento de equipos por parte del oferente, a partir de las necesidades y los deseos de los demandantes. Las acciones correctivas, preventivas, predictivas y modificativas.

Nivel 3 - Táctico (conjunto de acciones reales). El nivel táctico contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico (un equipo o conjunto de ellos); es el grupo de tareas de mantenimiento que se realizan para alcanzar un fin al seguir las normas y reglas establecidas para ello. En este nivel aparecen el TPM, el RCM, el TPM y el RCM combinados, PMO, reactiva, proactiva, clase mundial, RCM Scorecard, entre otros

Nivel 4 - Estratégico (conjunto de funciones y acciones mentales). El campo estratégico está compuesto por las metodologías que se desarrollan para evaluar el grado de éxito alcanzado con las tácticas desarrolladas; esto implica establecer índices, rendimientos e indicadores que permiten medir el caso particular con otros de diferentes industrias locales, nacionales o

internacionales. Es la guía que permite alcanzar el estado de éxito propuesto y deseado. Se alcanza mediante el LCC, el CMD, los costos, la Terotecnología, etcétera.

Elemento 5 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Tipos de Mantenimiento.

El enfoque sistémico kantiano en su segundo nivel plantea las posibles acciones que pueden ejecutarse en mantenimiento, que comprenden básicamente tareas de mantenimiento antes y después de la falla real o potencial (Figura 10).

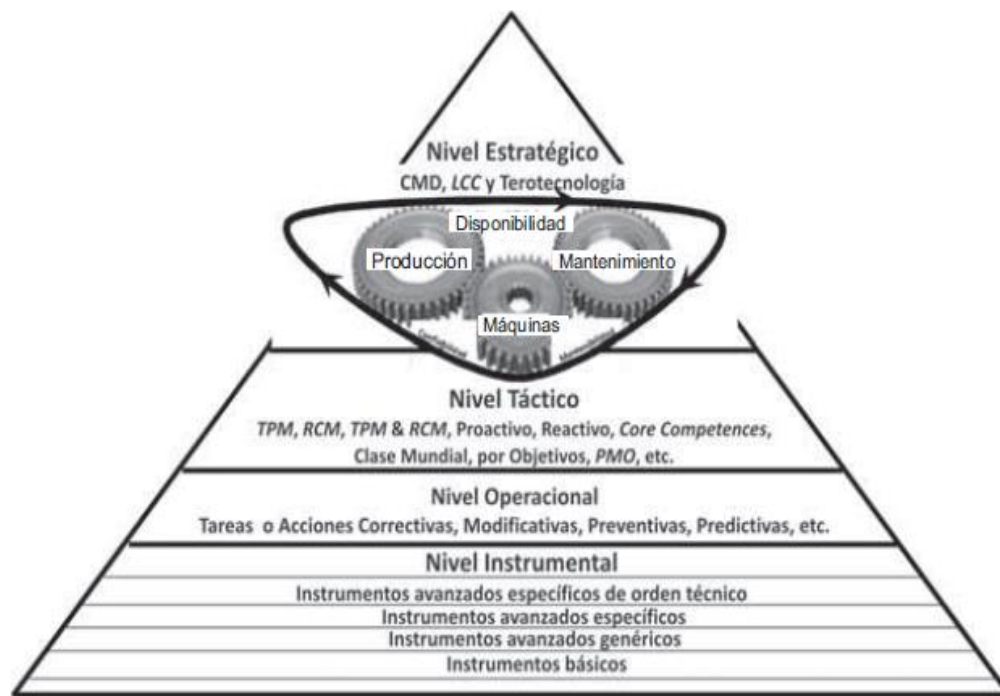


Figura 10. Enfoque Sistémico Integral Kantiano de Mantenimiento Estratégico

Fuente: (Mora, 2009)

El enfoque sistémico kantiano en su segundo nivel plantea las posibles acciones que pueden ejecutarse en mantenimiento que comprenden antes y después de la falla real o potencial, a continuación, se definen algunas de ellas:

Mantenimiento Correctivo. Es el mantenimiento que se ejecuta después de ocurrida una falla en determinada máquina, por lo que se debe realizar de manera urgente. El personal encargado de avisar de las fallas es el propio usuario de la máquina y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento. El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y danos materiales y/o humanos mayores.

El principal inconveniente que presenta este tipo de acción de mantenimiento consiste en que el usuario detecta la falla cuando el equipo está en servicio, en el preciso momento en que pierde su funcionalidad, ya sea al ponerlo en marcha o durante su utilización. Además, porque la mayoría de los operarios encargados de usar los equipos no son expertos en fallas. Entre algunos de los síntomas que determinan la presencia de fallas, pueden estar altos niveles de ruidos y/o anomalías que pueden generar otras averías mayores (Navarro y otros, 1997).

Mantenimiento preventivo. Es un tipo de mantenimiento, que busca principalmente la detección y prevención de fallas en el funcionamiento de las máquinas y equipos de una empresa, antes que estas ocurran. Esto se hace por medio de inspecciones periódicas y cambio de elementos en malas condiciones o dañados. Se basa principalmente en la confiabilidad de la maquinaria y equipo. El origen de este tipo de mantenimiento surgió analizando estadísticamente la vida útil de los equipos y sus elementos mecánicos y efectuando su mantenimiento basándose en la sustitución periódica de elementos independientemente del estado o condición de deterioro y desgaste de los mismos. Su gran limitación es el grado de incertidumbre a la hora de definir el instante de la sustitución del elemento.

Presenta las siguientes características:

- Se realiza en el momento en el cual la máquina no está produciendo
- Se lleva a cabo en paradas programadas por la empresa
- Cuenta con un tiempo determinado dentro de la fecha programada para el paro de la máquina
- Está orientado a áreas en particular y ciertos equipos especializados, aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite llevar a la empresa un historial de todos los equipos, donde se actualice la información técnica.

Entre las formas como pueden aparecer las acciones preventivas sobresalen: el denominado de uso, que consiste en que el mismo operario vela constantemente por todas las funciones sencillas de mantenimiento, de modo que puede anticiparse a graves averías. El Hard Time que se basa en revisiones constantes en ciertos intervalos de tiempo en que se examinan ciertas variables de operación y del equipo. De allí se desprende el estado actual la programación de las tareas planeadas. Y, por último, un mantenimiento preventivo muy evolucionado que sólo usa herramientas avanzadas específicas de orden técnico denominado predictivo (Wireman, 2004; Ávila, 1992 y Patton, 1995).

Mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a esta o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. También, es una fase avanzada del Preventivo, y se efectúan por un lado ensayos o pruebas sobre partes de las máquinas, y complementariamente se hacen mediciones de variables de operación.

La principal ventaja radica en la velocidad de detección de la avería (en forma anticipada y temprana al hecho), mientras que en otros casos sólo es posible establecer una frecuencia. A su vez, las acciones predictivas incorporan algunas variables que aumentan la información del estado de los equipos. La cantidad de información que proporciona este tipo de mantenimiento, sumado a la rapidez con que se mida la información, supera ampliamente a las acciones de mantenimiento descritas anteriormente (Navarro y otros, 1997).

Algunas de las ventajas del mantenimiento predictivo son:

- Reduce el tiempo de parada al conocerse exactamente el órgano que falla.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- Realiza la verificación de la condición de estado y monitoreo en tiempo real de la maquinaria, tanto la que se realiza en forma periódica como la que se hace de carácter eventual.
- Maneja y analiza un registro de información histórica vital a la hora de la toma de decisiones técnicas en los equipos.
- Define los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de aparición de condiciones no estándar.
- Posibilita la toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Provee el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizado por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Aplica el análisis estadístico del sistema

El Mantenimiento predictivo se apoya en tecnologías y técnicas específicas tales como: Análisis de vibraciones, Termografías, Análisis de aceites en uso, ensayo de tintas penetrantes, ultrasonidos, rayos X, ensayos con partículas magnéticas, etc.

Algunas de las ventajas del mantenimiento predictivo son:

- El principal inconveniente del mantenimiento predictivo es económico. Para cada máquina es necesaria la instalación de equipos de medición de parámetros que puedan ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caídas de temperatura, ruidos, vibraciones, agrietamientos, etc. (Latino@, 1999a; Latino, 1999b y De Groote,1994).
- Implica disponer de personal calificado tanto para la utilización del equipo como para el análisis de la información.

El nivel tres del enfoque sistémico kantiano de mantenimiento se refiere a las diferentes formas de organización que pueden adoptar las empresas, para manejar y operar el mantenimiento. La táctica es la forma como las diferentes compañías organizan la ejecución y la administración del mantenimiento de una forma coherente, lógica y sistémica. La implementación de una táctica implica la existencia de normas, leyes, reglas que gobiernan la forma de actuar, y así mismo, se resalta que ninguna táctica es buena, mala o mejor que otra, solo que cada una es beneficiosa y se selecciona la que más se adecua a las necesidades específicas de la organización.

Al momento de seleccionar la táctica a implementar se debe partir de la fase en que se encuentra en la curva de la bañera, los equipos y especialmente la organización en su conjunto. Teniendo en cuenta, las características de comportamiento de las fallas, de la tasa de fallas y reparaciones, se plantean diferentes alternativas de aplicabilidad eficiente tanto para las cuatro acciones de mantenimiento como para las tácticas más usadas. Este factor es vital en la selección de la táctica acorde con el momento CMD que viva la empresa.

A continuación, se definen algunas de las tácticas internacionales más sobresalientes:

Mantenimiento Productivo Total TPM. Con sus siglas en inglés *Total Productive Maintenance* es el sistema de Mantenimiento en el cual hay compromiso y colaboración en todos los niveles de la Compañía, incluyendo la gerencia, con el fin de maximizar la productividad. Se entiende por *productividad* la maximización de la relación entre los productos o servicios obtenidos, a partir de unos recursos. En términos simples ser productivo es producir lo máximo con lo mínimo, respetando la calidad. (Montilla, 2016)

Después de la segunda guerra mundial, los japoneses para mejorar la calidad de sus productos empiezan a importar de estados unidos técnicas de manufactura y administración para la producción industrial, y dentro de éstos se encuentra el mantenimiento preventivo, que más adelante le incorporan nuevos conceptos, como mantenimiento productivo, prevención del mantenimiento, ingeniería de confiabilidad, etc.

Surge el TPM, para conformar algunas veces definido como mantenimiento productivo implementado por todos los empleados, basado en que la mejora del equipo involucra a todos los funcionarios de la organización, desde los operadores hasta los empleados de la alta dirección (Nakajima & otros, 1991).

El TPM maneja un concepto en materia de mantenimiento, basado en los siguientes cinco principios fundamentales:

- Participación de todo el personal, desde la alta dirección hasta los operarios de planta.

Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.

- Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias. De tal forma se trata de llegar a la eficacia global.
- Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas de manera tal que se facilite la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan y se consigan los objetivos propuestos.
- Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el Mantenimiento Autónomo.
- Aplicación de los sistemas de gestión a todos los aspectos, diseño, producción, desarrollo, ventas, postventa y dirección.

La aplicación del TPM garantiza a las empresas resultados en cuanto a la mejora de la productividad de los equipos, mejoras corporativas, mayor capacitación del personal y transformación del puesto de trabajo.

Entre los objetivos principales del TPM se tienen:

- Reducción de averías en los equipos
- Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos
- Utilización eficaz de los equipos existentes
- Control de la precisión de las herramientas y equipos
- Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos
- Formación y entrenamiento del personal

El TPM en términos prácticos pretende lograr en una planta:

- Cero averías,
- Cero Setup o tiempo de alistamiento,
- Cero defectos,
- Cero despilfarros,
- Cero accidentes y
- Cero contaminaciones

Estas pérdidas, como filosofía, deben ser eliminadas o llevadas a cero.

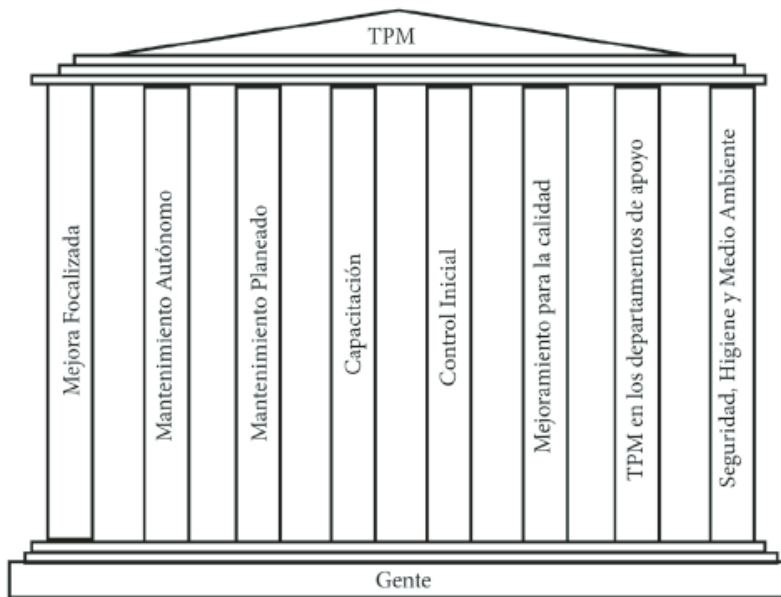


Figura 11. Ocho pilares que soportan el sistema TPM

Fuente: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1520>.)

Estas pérdidas, como filosofía, deben ser eliminadas o llevadas a cero.

- **Mejora Focalizada:** el objetivo principal es eliminar las grandes pérdidas ocasionadas en el proceso productivo, las cuales pueden ser: fallas en los equipos principales y auxiliares, cambios y ajustes no programados, ocio y paradas menores, reducción de velocidad, defectos en el proceso.
- **Mantenimiento Autónomo:** el objetivo es involucrar al operador respecto de las condiciones de operación, y se basa en el conocimiento que éste posee del equipamiento para detectar a tiempo fallas potenciales o realizar inspecciones preventivas y trabajos de mantenimiento.
- **Mantenimiento Planeado:** el objetivo es lograr que el equipamiento y el proceso se encuentren en las mejores condiciones, para lo que es necesario eliminar las fallas a través de acciones de mejora, prevención y predicción.

- Capacitación: el objetivo es aumentar las habilidades del personal para interpretar y actuar de acuerdo con condiciones establecidas, siendo entonces necesario definir quién hace qué y de la mejor forma posible.
- Control inicial: son aquellas actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta en servicio de los equipos, con el objeto de reducir los futuros costos de mantenimiento.
- Mejoramiento para la Calidad: tomar acciones preventivas para evitar la variabilidad del proceso, mediante el control tanto de los componentes, como de los equipos, evitando así el cambio de las características del producto final y, por consiguiente, cuidando así su calidad, ofreciendo un producto cero defectos como consecuencia de un proceso cero defectos.
- Departamentos de apoyo: el objetivo es aumentar la eficiencia, con la participación de planificación, desarrollo, administración y ventas, ofreciendo el apoyo necesario para que el proceso productivo funcione con los menores costos, oportunidad solicitada y con la más alta calidad.
- Seguridad, Higiene y Medioambiente: está comprobado que el número de accidentes crece en proporción al número de pequeñas paradas. También está el hecho de asumir la responsabilidad de que al identificar los riesgos se mejora la salud y seguridad.

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM.

Se puede definir como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual (Moubray@, 2001, 2004). En este sistema de mantenimiento se pone

especial énfasis en el funcionamiento global del sistema, más que en el de cada equipo individualmente; un equipo no es *intrínsecamente* importante, sino por la función que desempeña dentro de un proceso productivo. En RCM la palabra clave es la *Confiabilidad* o Fiabilidad (*Reliability*).

La Confiabilidad de un equipo es posible evaluarla en términos cuantitativos. El conocimiento de la confiabilidad y la disponibilidad de un equipo permiten planear la producción e incluso disponer de planes de contingencia.

Mantenimiento combinado TPM y RCM. La combinación RCM y TPM tiene la ventaja de mejorar el proceso para facilitar el trabajo en equipo entre mantenimiento y las funciones de Producción, mejorar la fiabilidad de las máquinas y reducir los costos de operación. Ambas tácticas son complementarias, pues mientras el TPM mejora la productividad, el RCM aumenta la confiabilidad y la competitividad (Marks, 1997 y Moore@, 2008).

La utilización conjunta de ambas tácticas permite alcanzar un manejo intensivo y exitoso de los instrumentos básicos y avanzados de mantenimiento, en especial del recurso humano (TPM) y de la tecnología (RCM). Su utilización progresiva al iniciar con TPM para lograr la superación del recurso humano, y luego el énfasis técnico y logístico del RCM, permiten una utilización extensiva de los dos niveles iniciales de mantenimiento. La combinación ideal es implementar el TPM y una vez logrado seguir con RCM, para posteriormente ingresar en una táctica proactiva (que las cubre a ambas) (Marks, 1997).

Mantenimiento Proactivo. El mantenimiento proactivo es una táctica de mantenimiento dirigida fundamentalmente a la detección y la corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez localizadas las causas que generan el desgaste, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria ya que, de hacerlo, su vida y desempeño se ven reducidos.

El proactivo se define como la metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o de controlar las causas de fallas de las máquinas. Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma.

El proactivo representa el próximo paso en la evolución hacia un mantenimiento planeado, y dentro de este procedimiento el personal de mantenimiento lleva estadísticas específicas sobre los equipos que se van a monitorear, para cumplir con los requerimientos necesarios (Fitch@, 2002).

Elemento 6 del Artículo 1 del Aparte 3 Sección 1 – Proceso de Gestión de Mantenimiento.

La gestión del mantenimiento juega un importante papel en mejorar la eficiencia general de una organización ayudando a mantener la continuidad y evitar los costosos tiempos de inactividad. Y aun así, ha habido pocos estudios sobre mejora de las organizaciones con la gestión del mantenimiento, convirtiéndola en un tema poco investigado. (Abreu, Ventura, Fernandes, & Zacarias, 2013).

Tal como se define en la norma europea EN 13306:2011 (CEN, 2011), la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que: determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permitirá luego, en el día a día, implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización.

Se puede demostrar (Crespo Márquez, 2007), que, para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, es posible conseguir los anteriores puntos entendiendo bien los dos siguientes aspectos:

- El proceso de gestión de mantenimiento, que tiene un curso de acción, es decir una serie de pasos a seguir y;
- El marco general de referencia para la gestión, es decir la estructura básica de soporte constituida por una serie de herramientas que conforman un sistema básico, que es necesario para una gestión avanzada del mantenimiento.

El proceso de gestión de mantenimiento se divide en dos partes principales:

- La definición de la estrategia de mantenimiento;
- La implementación de la estrategia de mantenimiento.

La primera de estas partes, el proceso de definición de la estrategia de mantenimiento requiere la definición de los objetivos de mantenimiento como “input” del mismo. Obviamente, los objetivos de mantenimiento dimanar directamente del plan de negocio de la organización en cuestión. Diseñar estrategias de mantenimiento que estén alineadas con los planes de negocio es

un aspecto clave y condiciona la consecución de los objetivos del mantenimiento y en última estancia los reseñados en el plan de negocio de la organización.

La segunda parte del proceso, la implementación de la estrategia tiene un distinto nivel de importancia y tienen que ver con nuestra habilidad para asegurar niveles adecuados de formación del personal, de preparación de los trabajos, con la selección de las herramientas adecuadas para realizar las diferentes tareas o, por ejemplo, con el diseño y consecución de la ejecución a tiempo de los diferentes programas de mantenimiento.

La primera y segunda parte en la que dividimos el proceso de gestión de mantenimiento condicionan la eficacia y eficiencia de la gestión respectivamente. La eficacia muestra la bondad con que un departamento o función consigue los objetivos impuestos en base a las necesidades de la empresa. A menudo la eficacia de las funciones empresariales se mide en términos de calidad del servicio realizado por esa función, siempre desde el punto de vista cliente-proveedor y bajo la perspectiva del cliente. La eficacia de la gestión se concentra entonces en lo correcto de los procesos que se emprenden y en que los procesos produzcan el resultado esperado de los mismos.

La eficacia de la gestión de mantenimiento permitirá entonces minimizar los costes indirectos de mantenimiento (Vagliasindi , 1989), aquellos asociados con las pérdidas de producción y en última instancia con la insatisfacción del cliente. Por tanto, en el caso de mantenimiento, la eficacia de la gestión de esta función podemos entenderla como la satisfacción que la empresa tiene con la capacidad y condición de sus activos (Wireman, 1998) o con la mejora general de los

costes que experimenta cuando la capacidad de producción está disponible cuando se necesita (Palmer, 1999).

La segunda parte en que se divide el proceso de mantenimiento tiene que ver con la eficiencia de la gestión, que debería ser menos importante que la primera (garantizar la eficacia de la misma) para la organización. Eficiencia es actuar o producir con el mínimo esfuerzo, minimizando derroche o desperdicio de recursos, y los gastos asociados a los mismos. Si logramos mejoras en esta segunda parte del proceso de gestión, nos permitirán minimizar los costes directos de mantenimiento, es decir realizar un servicio de mantenimiento de igual o mejor calidad a costes más competitivos.

El proceso de definición de una estrategia para mantenimiento puede describirse utilizando métodos estándar bien conocidos de planificación estratégica, que normalmente incluyen lo siguiente (ver Figura 10):

- Obtención, partiendo de los objetivos corporativos del negocio, los objetivos y políticas de mantenimiento al más alto nivel. Estos objetivos pueden incluir, por ejemplo, valores estimados y realistas para las siguientes variables: Disponibilidad de equipos, fiabilidad, seguridad, riesgo, presupuesto de mantenimiento, etc.; a su vez, estos objetivos deben de ser comunicados a todo el personal que está involucrado en mantenimiento, incluyendo terceras partes;
- Determinación del desempeño o rendimiento actual de las instalaciones productivas;
- Determinación de los medidores claves a considerar para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (*Key Performance Indicators - KPIs*). Las mejoras que perseguir se basarán en esta serie de medidores aceptados por la dirección de operaciones y de mantenimiento;

- Establecimiento de una serie de principios que conducen la implementación de la estrategia, y que condicionarán la posterior planificación, ejecución, evaluación, control y análisis para la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

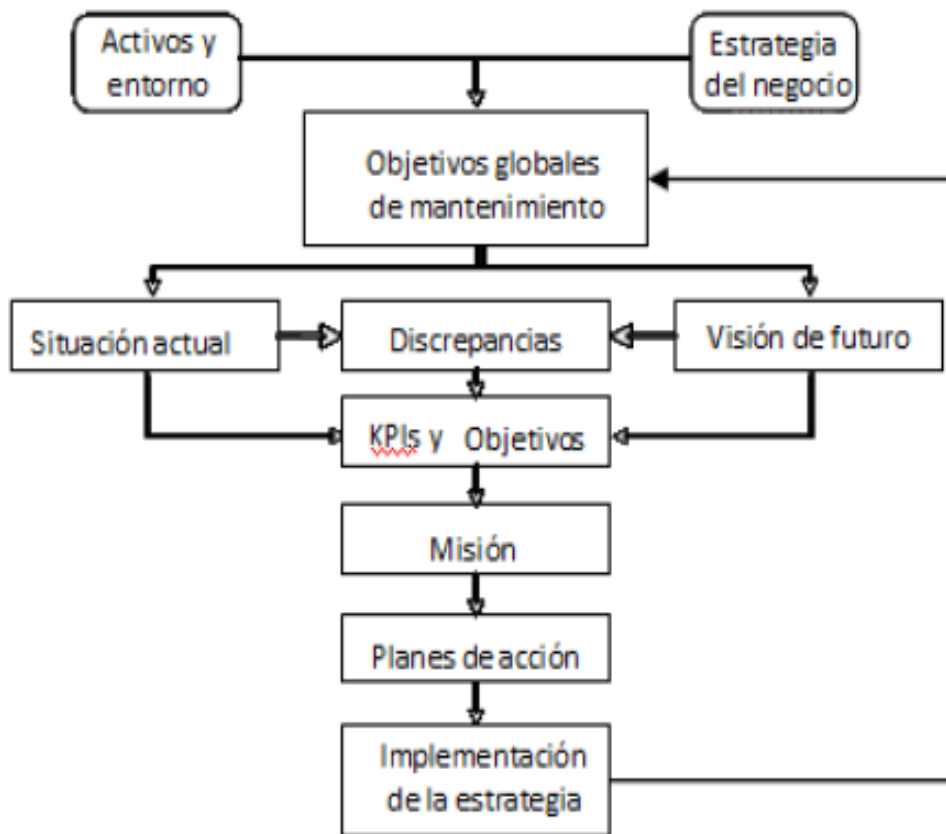


Figura 12. Modelo para la definición de la estrategia de mantenimiento

Fuente: (Crespo 2007)

Además, la gestión de mantenimiento establece los doce principios más importantes, enunciados por la comisión EUREKA iniciativa europea que tiene como objeto prestar apoyo a proyectos transnacionales de investigación, desarrollo e innovación orientado al mercado en todos los sectores y son:

Temas técnicos	Recursos humanos	Campo económico
<ul style="list-style-type: none"> * Servicios * Productos * Calidad de productos * Método de trabajos de mantenimientos * Manejo de materiales * Control de todas las actividades de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Función de las relaciones internas * Función de las relaciones externas * Función de la organización de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Estructura de mantenimiento * Economía en la gerencia de mantenimiento * Economía frente a la producción

Figura 13. Principios más importantes en la gestión de mantenimiento

Fuente: (Mora Gutierrez A. , 2009)

Aparte 4 Sección 1 - Conclusiones de la sección 1

La sección registra los conceptos y fundamentos de Mantenimiento, que permiten entender el comportamiento de los equipos de acuerdo con su comportamiento operacional los cuales se pueden aplicar de clase mundial, y permiten planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión de mantenimiento en cualquier tipo de empresa sin importar la economía en la cual se desarrolla (Mora, 2017).

Así mismo, la eficiencia con que la gestión de mantenimiento contribuye para alcanzar la producción total mediante la dotación de capacidades y la fiabilidad del parque industrial, se plasma al maximizar la disponibilidad de los equipos (Rey, 1996)

Sección 2 - Caracterización

Aparte 1 - Sección 2 - Objetivo número 2

DOS – Caracterización – Describir los indicadores de confiabilidad, mantenimiento y disponibilidad bajo estándares internacionales que brinde las herramientas necesarias para elaborar el plan de gestión de mantenimiento. Nivel dos Comprender - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 2 - Introducción Sección 2

Este numeral presenta desde un enfoque sistémico integral los parámetros universales de medición como son disponibilidad, mantenibilidad y disponibilidad teniendo en cuenta los estándares internacionales.

Aparte 3 - Sección 2 - Desarrollo de capítulo 2

En esta sección se presentan conceptos, generalidades principales, y cálculos matemáticos que tiene el mantenimiento para su análisis fundamentado sobre los indicadores CMD

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 2 – Conceptos y generalidades de indicadores CMD

El análisis CMD (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad), conocido también como análisis RAM (Reliability, Availability and Maintainability) permite pronosticar para un período determinado de tiempo, la disponibilidad y el factor de servicio de un proceso de producción. Se realiza basado en su configuración, en la confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de mantenimiento.

Los elementos mantenimiento, producción y máquinas se relacionan entre si a partir de premisas y normas de aceptación universal, así:

- La relación entre productores (producción) y máquinas la establecen los principios de la confiabilidad².
- La relación entre mantenedores (mantenimiento) y maquinas se define por las reglas de la mantenibilidad;
- La relación entre mantenedores y productores se da por una relación indirecta a través de los equipos y está gobernada por los cánones de la disponibilidad.

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora, 2007b) y su evaluación integral y específica. Por medio del CMD es como se pueden planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y la operación del mantenimiento.

La mayoría de las tácticas conocidas como TPM, RCM, proactiva, reactiva, clase mundial, PMO, RCM Scorecard, centrada en objetivos, basada en riesgos, Terotecnología, etc., fundamentan su establecimiento a partir de los indicadores CMD, los cuales proveen los principios básicos estadísticos y proyectivos de las dos manifestaciones magnas de mantenimiento: fallas y reparaciones. (Mora, 2009)

² Confiabilidad: es idéntico al término fiabilidad((Mora Gutierrez A. , 2009)

Artículo 2 del Aparte 3 Sección 2 – Confiabilidad.

Definida como la confianza que se tiene de que un sistema (máquina, equipo, una planta industrial, proceso, elemento, pieza o componente) desempeñe su función básica, bajo estándares establecidos, y durante un período de tiempo requerido. Esta impacta directamente sobre los resultados de la empresa, debiendo aplicarse no sólo a máquinas o equipos aislados sino a la totalidad de los procesos que integran la cadena de valor de la organización.

La confiabilidad se puede entender como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos del ciclo vida y la seguridad de un producto (Nachlas, 1995).

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo (ESReDa, 1998), si no hay fallas, el equipo es 100% confiable, si la frecuencia de falla es muy alta, el equipo es poco confiable. (Mora, 2009)

La confiabilidad es la probabilidad de que un activo cumpla con su función, en un tiempo determinado y bajo un entorno operacional específico.

Ecuación 1. Representación de la ecuación de Confiabilidad

$$\text{CONFIABILIDAD: } C(t) = e^{\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Donde:

C(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado

e: constante Neperiana (e=2. 303..)

λ : Tasa de fallas (número total de fallas por período de operación)

t: tiempo

(Mora, 2011)

Teniendo en cuenta las definiciones de confiabilidad, es posible identificar cuatro características que determinan su estructura; probabilidad, desempeño, periodo y condiciones específicas. A continuación, se definen cada una de ellas:

Probabilidad

La palabra “probabilidad” es cotidianamente utilizada para calificar eventos de cuya ocurrencia (y las características de esta ocurrencia) no podemos estar seguros; es decir, eventos con varios posibles resultados o cuyo resultado es “incierto”. (Yañez, Gómez, & Valbuena, 2004)

La probabilidad p de que suceda un evento S de un total de n casos posibles igualmente probables es igual a la razón entre el número de ocurrencias h de dicho evento (casos favorables) y el número total de casos posibles n .

Ecuación 2. Representación de la ecuación de Probabilidad

$$PROBABILIDAD: p = P \{S\} = \frac{h}{n}$$

(Yañez, Gómez, & Valbuena, 2004)

La probabilidad es un número que varía entre 0 y 1. Cuando el evento es imposible se dice que su probabilidad es 0, si el evento es cierto y siempre tiene que ocurrir su probabilidad es 1.

Desempeño Satisfactorio.

Identifica los criterios específicos para detallar lo que es una operación satisfactoria de los componentes. Se basa en la combinación de variables cualitativas y cuantitativas que definen las funciones que el sistema debe lograr y que usualmente son las condiciones del sistema.

Periodo

Esta variable define el tiempo en que el sistema se encuentra en funcionamiento, es decir su ciclo de vida. El análisis de esta variable aleatoria, implica el uso de las distribuciones de probabilidad, que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida.

(Nachlas, 1995)

Condiciones Específicas.

Son las condiciones en que se espera que el sistema³ funcione, e incluye característica como: ubicación geográfica de operación, condiciones ambientales como temperatura y humedad, transporte, vibraciones, almacenamiento y la cantidad de carga, entre otras.

Los indicadores de confiabilidad permiten evaluar e identificar el funcionamiento correcto de un equipo. Estos indicadores deben ser entendibles, cuantificables y ser compartidos con todo el personal de mantenimiento, junto con el cual se definen los objetivos, acciones y metas propuestos. Estos indicadores deben mostrar el resultado real del comportamiento del sistema, sin exceder en

³ Cuando se refiere a un sistema comprende equipos, componentes y, en general, todo elemento que represente una unidad lógica de seguimiento.

número de indicadores, se deben definir los más relevantes para la operación y mantenimiento, los cuales deben arrojar los resultados esperados.

Artículo 3 del Aparte 3 Sección 2 – Mantenibilidad.

Es la propiedad que tiene un sistema en ser restaurado⁴ después de haber ocurrido una falla. Esto representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restaurarlo una vez se ha presentado una falla.

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.

Este parámetro valora la facilidad o dificultad de reparación (suministro, disponibilidad de repuestos, accesibilidad al equipo, disponibilidad de documentación técnica, etc.), y también la de realizar inspecciones periódicas para mantenerlo en condiciones correctas de uso.

En términos probabilísticos la mantenibilidad es “la probabilidad de reestablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la

⁴ Su estado de referencia normal no necesariamente tiene que ser igual al diseño original, se refiere a la normalidad como las condiciones usuales en que el equipo genera servicios o productos, sin problema alguno.

probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo t .
(Monchy, 1989).

Ecuación 3. Representación de la ecuación de Mantenimiento

$$\text{MANTENIBILIDAD: } M(t) = P [T \leq t]$$

(Mora, 2011)

Donde: $M(t)$: es la función mantenibilidad o de reparación, la cual va aumentando en la medida que se incremente el tiempo t .

T : es una variable aleatoria que representa el tiempo de reparación. A partir de esta función se definen otros conceptos como la Tasa de Reparaciones o el Tiempo Medio por Reparación

La mantenibilidad, depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos especializados, etc.) Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

La mantenibilidad es una medida vital para la predicción⁵, la evaluación, el control y la ejecución de las tareas correctivas o proactivas de mantenimiento; permite mejorar los tiempos y

⁵ Tareas proactivas: mantenimientos planeados, preventivos o predictivos

las frecuencias de ejecución de acciones de reparación o mantenimiento en las máquinas (Mora, 2003).

La mantenibilidad se cuantifica a partir de la cantidad y de la duración de las reparaciones (o mantenimientos planeados) (tareas proactivas según J. Moubray - RCM II), mientras que la disponibilidad se mide (o se obtiene por cálculo y deducción matemática) a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

Artículo 4 del Aparte 3 Sección 2 – Disponibilidad.

La disponibilidad objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir de manera continua.

Ecuación 4. Representación de la ecuación de Disponibilidad

$$\text{DISPONIBILIDAD: } D(t) = \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda(t)}$$

(Mora, 2011)

Donde: $\mu(t)$, es la tasa de reparación y $\lambda(t)$, es la tasa de fallas.

De igual manera, se puede definir como una función que permite calcular el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un sistema esté en condiciones adecuadas para cumplir la función para la cual fue diseñado. La disponibilidad no implica necesariamente que un sistema

esté funcionando, sino que está cumpla las condiciones necesarias para operar cuando sea requerido.

La disponibilidad es una herramienta útil en situaciones en las que se tienen que tomar decisiones con respecto a la adquisición de un elemento, entre varias posibles alternativas (Knezevic, 1996).

También es considera importante en sistemas relativamente complejos, como plantas de energía, satélites, plantas químicas y estaciones de radar. En dichos sistemas, una confiabilidad alta no es suficiente, por si misma, para asegurar que el sistema esté disponible para cuando se necesite (O'Connor, 2002).

Aparte 2 Sección 2 - Conclusiones de la sección 2

En el desarrollo de este capítulo, se describen las variables a tener en cuenta en el análisis de los indicadores de Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad CMD, los cuales permiten identificar las bondades de cada una y seleccionar la metodología apropiada.

Los análisis CMD, permiten pronosticar cual sería el comportamiento probable de un sistema o componente, como se comportó en tiempo y cuáles fueron sus desviaciones en el área de mantenimiento que más impactaron el proceso. De esta forma, es posible tener un sistema confiable, mantenible y disponible cuando sea requerido y contar con un plan de mantenimiento concreto y eficiente, para optimizar los recursos de la institución.

Sección 3 – Táctica

Aparte 1 - Sección 3- Objetivo número 3

TRES – Táctica – Aplicar la táctica de mantenimiento adecuada a las circunstancias específicas de UNIPAZ, para controlar la gestión y operación integral del mantenimiento que permita evaluar eficazmente la operatividad de los equipos. Nivel tres Aplicar - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 3 - Introducción Sección 3

“La táctica es la forma como las diferentes compañías organizan la ejecución y la administración del mantenimiento de una forma coherente, lógica y sistémica. La implementación de una táctica implica la existencia de normas, leyes, reglas que gobiernan la forma de actuar.” (Mora, 2009. Pág. 436).

Para determinar la táctica más adecuada se necesita obtener información relevante sobre el estado de las máquinas o equipos, nivel de criticidad de los mismos, y nivel de compromiso de los directivos, entre otros. Así mismo, para alcanzar el nivel 3 (táctico) se debe dominar con suficiencia los niveles anteriores, es decir, los niveles 1(instrumental) y 2(operativo) (Mora, 2014).

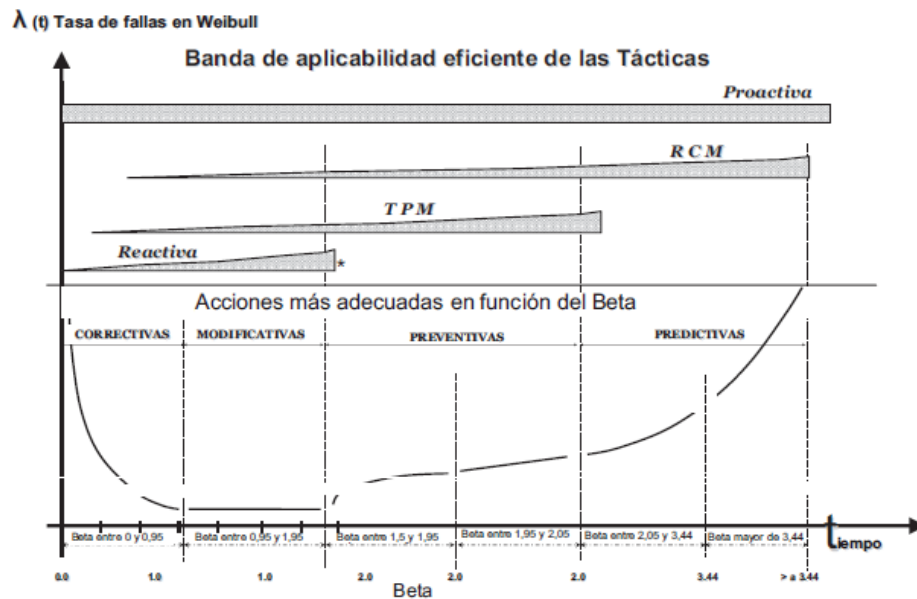
En la institución, desde hace más de dos años se ha venido trabajando en los niveles instrumental y operativo, lo que impulsa a avanzar al tercer nivel denominado Táctico. Esta sección busca determinar la táctica más adecuada para UNIPAZ, basándose en técnicas

preestablecidas y aceptadas internacionalmente, con el fin de realizar una gestión del mantenimiento óptima, acorde a las necesidades y circunstancias específicas de la institución.

Aparte 3 - Sección 3 - Desarrollo de capítulo 3

En esta sección se presenta el procedimiento matemático para determinar la táctica más adecuada para el área de mantenimiento del Instituto Universitario de la Paz UNIPAZ.

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 3 – Acciones y tácticas adecuadas



Denota que la línea a medida que se vuelve más gruesa a la aplicación de la táctica es más eficiente, ya que se acomoda más a las características de las fallas y de su tasa.

Figura 14. Curva de Davies, acciones y tácticas adecuadas, acorde al valor del Beta

Fuente: Mora, 2008

Para la identificación de la táctica más adecuada a implementar en el área de mantenimiento de UNIPAZ, se tomará como criterio de selección, lo expresado en la Figura 14, teniendo en cuenta la metodología basada en seis etapas detalladas a continuación:

1. Obtención, la tabulación, la manipulación y el tratamiento de los datos.

2. Decidir la disponibilidad más adecuada.
3. Decidir si se utiliza el método directo de máxima verosimilitud o el método de alineación.
4. Realizar cálculos y pruebas de bondad de ajuste de Weibull.
5. Parametrizar y realizar la alineación o MLE.
6. Realizar todos los cálculos CMD.

Elemento 1 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 – Etapa 1

La institución cuenta con el siguiente inventario de equipos rotativos:



Figura 17. Planta Generadora de Energía Stewart y Stevenson
Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 16. Planta Generadora de Energía Power Max
Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 15. Planta Generadora de Energía Eco Power
Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 18. Planta Generadora de Energía Eco Horse
Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 20. Electrobomba- Pedrollo Hmax56

Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 19. Electrobomba- Pedrollo Hmax110

Fuente (UNIPAZ,2020)



Figura 22. Electrobomba Barnes 2Hp

Fuente (UNIPAZ,2020)



Figura 21. Electrobomba - Agua Park - 601 GPM

Fuente (UNIPAZ,2020)



Figura 23 Aire Acondicionado Inverter tipo casette 53.900Btu

Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 24. Aire Acondicionado Inverter Tipo Casette 36.000 Btu

Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 26. Aire Acondicionado Inverter Piso Techo 60.000Btu

Fuente (UNIPAZ,2020)



Figura 25. Aire Acondicionado Gold Tipo Ventana 12.000Btu

Fuente (UNIPAZ, 2020)



Figura 27. Aire Acondicionado Inverter Tipo Mini Split 24.000Btu

Fuente (UNIPAZ, 2020)

Los datos utilizados a continuación y organizados por año y por equipo rotativo, son extraídos de los reportes de mantenimiento generados durante los 5 últimos años. Por su extensión, solo se mostrarán los 2 primeros años, pero para efectos de cálculo, se tendrán en cuenta todos los datos obtenidos en aquel periodo.

Tabla 3. Lista de fallas de los equipos rotativos 2018-2019

No. Dato	Año #	Equipo Rotativo	Horas Manteni miento	Problema / Situación	Causa
1	1	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	2	No enciende	Falla de la batería
2	1	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	2	Se apaga	Fuga de aceite
3	1	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	1	No enciende	Fusible quemado
4	1	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	3	Mantenimiento programado	Corto circuito motor
5	1	Planta generadora de energía (Power Max)	2	Mantenimiento programado	Carbonización
6	1	Planta generadora de energía (Eco Power)	2	Mantenimiento programado	Mangueras de combustible deterioradas
7	1	Planta generadora de energía (Eco Power)	1	Se apaga	Falla en la batería
8	1	Planta generadora de energía (Eco Power)	1	No enciende	Disyuntor disparado
9	1	Planta generadora de energía (Eco Horse)	2	No enciende	Aire en el sistema de combustible
10	1	Planta generadora de energía (Eco Horse)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
11	1	Electrobomba (Pedrollo HMAX56)	2	No arranca	Falla en el condensador
12	1	Electrobomba (Pedrollo HMAX56)	2	Se apaga	Refrigeración deficiente
13	1	Electrobomba (Pedrollo HMAX110)	1	No arranca	Conexiones flojas
14	1	Electrobomba (Pedrollo HMAX110)	2	No arranca	Falla en el condensador
15	1	Electrobomba (Pedrollo HMAX110)	6	No desarrolla presión ni flujo	Eje quebrado
16	1	Electrobomba (BARNER)	2	No bombea líquido	Bolsillos de aire en tuberías
17	1	Electrobomba (BARNER)	1	Baja presión	Filtros tapados
18	1	Electrobomba (AQUA PRK)	2	Vibraciones anormales	Desalineamiento entre motor y eje
19	1	Aire Acondicionado (LG)	1	No enfría	Falta de gas refrigerante
20	1	Aire Acondicionado (LG)	2	No enfría	Compresor con orificio de fuga
21	1	Aire Acondicionado (LG)	1	No enciende	Tacos disparados

No. Dato	Año #	Equipo Rotativo	Horas Manteni miento	Problema / Situación	Causa
22	1	Aire Acondicionado (LG)	2	Compresor no enciende	Termostato averiado
23	1	Aire Acondicionado (LG)	1	No enfría	Filtros sucios
24	1	Aire Acondicionado (LG)	2	Goteo de agua	Falta de limpieza
25	1	Aire Acondicionado (Toshiba)	1	Se apaga	Capacitor averiado
26	1	Aire Acondicionado (Toshiba)	1	No enciende	Fusible quemado
27	1	Aire Acondicionado (Samsung)	1	Se apaga	Sensores defectuosos
28	1	Aire Acondicionado (Samsung)	1	No enfría	Capacitor averiado
29	1	Aire Acondicionado (Samsung)	1	No enfría	Capacitor averiado
30	2	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	1	No enciende	Medidor de combustible atascado
31	2	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	2	Vibraciones y ruidos anormales	Equilibrio rotor y cojinetes
32	2	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
33	2	Planta generadora de energía (Stewart y Stevenson)	1	No enciende	Aire en el sistema de combustible
34	2	Planta generadora de energía (Power Max)	1	No enciende	Configuración incorrecta control
35	2	Planta generadora de energía (Eco Power)	1	Se apaga	Falla en la refrigeración
36	2	Planta generadora de energía (Eco Power)	2	Mantenimiento programado	Vibraciones anormales
37	2	Planta generadora de energía (Eco Horse)	1	Se apaga	Fuga de aceite
38	2	Electrobomba (Pedrollo HMAX56)	1	Flujos bajos	Baja velocidad del motor
39	2	Electrobomba (Pedrollo HMAX56)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
40	2	Electrobomba (Pedrollo HMAX110)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
41	2	Electrobomba (Pedrollo HMAX110)	3	Consume mucha potencia	Rodamientos gastados
42	2	Aire Acondicionado (LG)	2	No enfría	Fuga de gas en conductos

No. Dato	Año #	Equipo Rotativo	Horas Manteni miento	Problema / Situación	Causa
43	2	Aire Acondicionado (LG)	2	Se apaga	Unidad de evaporación y ventilador sucios
44	2	Aire Acondicionado (LG)	1	No enfría	Falta de gas
45	2	Aire Acondicionado (LG)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
46	2	Aire Acondicionado (LG)	1	No enfría	Falta de gas
47	2	Aire Acondicionado (Toshiba)	1	No enfría	Filtros sucios
48	2	Aire Acondicionado (Toshiba)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
49	2	Aire Acondicionado (Toshiba)	1	No enfría	Capacitor averiado
50	2	Aire Acondicionado (Samsung)	1	No enfría	Capacitor averiado
51	2	Aire Acondicionado (Samsung)	2	Mantenimiento programado	Limpieza
52	2	Aire Acondicionado (Samsung)	2	No enfría	Escape de gas en conductos

Fuente: Elaboración propia, 2020

Si se reorganizan estos datos de tal forma que se originen tablas de frecuencias teniendo como variables el tipo de equipo rotativo, así como sus condicionales (el problema detectado en el equipo o la causa del problema), obtendremos más elementos de análisis para sacar conclusiones significativas al respecto.

Donde:

f = Frecuencia absoluta F = Frecuencia acumulada y Fr = Frecuencia relativa

Tabla 4. Tabla de frecuencias de mantenimiento en plantas generadoras de energía agrupadas por problema

Horas Mantenimiento	Problema / Situación	f	F	fr
49	No enciende	14	14	25%
116	Mantenimiento programado	25	39	45%
45	Se apaga	12	51	21%
11	Vibraciones anormales	5	56	9%
221		56		100%

Fuente: Elaboración propia, 2020

El 45% de los problemas o situaciones de mantenimiento en plantas generadoras de energía se deben a mantenimiento programado y el 25% se deben a problemas de encendido.

Tabla 5. Tabla de frecuencias de mantenimiento en electrobombas agrupadas por problema o situación

Horas Mantenimiento	Problema / Situación	f	F	fr
21	No arranca	10	10	10.87%
104	Mantenimiento programado	40	50	43.48%
12	Se apaga	6	56	6.52%
32	No bombea	14	70	15.22%
25	Problemas de presión	12	82	13.04%
7	Vibraciones anormales	6	88	6.52%
10	Alto consumo de potencia	4	92	4.35%
211		92		100%

Fuente: Elaboración propia, 2020

El 43.48% de los problemas o situaciones de mantenimiento en electrobombas se debe a mantenimientos programados, seguido de un 15.22% por problemas de bombeo.

Tabla 6. Tabla de frecuencias de mantenimiento en equipos de aire acondicionado agrupados

Horas Mantenimiento	Problema / Situación	f	F	fr
15	No enfría	10	10	4.69%
45	No enciende	15	25	7.04%
50	Se apaga	20	45	9.39%
450	Mantenimiento programado	150	195	70.42%
30	Goteo de agua	18	213	100%
590		213		100%

Fuente: Elaboración propia, 2020

El 70.42% de los problemas de mantenimiento en equipos de aire acondicionado obedece a mantenimientos programados y un 9.39% es debido a que se apagan.

Tabla 7. Tabla de frecuencias de mantenimiento en plantas generadoras de energía agrupadas por causa

Horas Mantenimiento	Causa	f	F	fr
2	Falla Batería	2	2	3.57%
14	Fuga de aceite	4	6	7.14%
8	Fusible o disyuntor quemado	5	11	8.93%
12	Aire en el sistema de combustible	2	13	3.57%
101	Ajustes y Limpieza	16	29	28.57%
8	Configuración incorrecta control	6	35	10.71%
10	Corto circuito	2	37	3.57%
16	Desalineación	2	39	3.57%
11	Vibraciones anormales	4	43	7.14%
4	Medidor combustible atascado	3	46	5.36%
8	Deterioro mangueras combustible	4	50	7.14%
11	Carbonización	4	54	7.14%
6	Falla en la refrigeración	2	56	4.72%
221		56		100%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Las principales causas de los problemas o situaciones de mantenimiento en plantas generadoras de energía son: ajustes y limpieza con un 28.57%, configuración incorrecta del panel de control con un 10.71% y fusible o disyuntor quemado con un 8.93%

Tabla 8. Tabla de frecuencias de mantenimiento en electrobombas agrupadas por causa

Horas Mantenimiento	Causa	f	F	fr
20	Falla en el condensador	10	10	10.87%
90	Limpieza	35	45	48.91%
13	Alto consumo de potencia	7	52	7.61%
18	Baja velocidad motor	8	60	8.70%
10	Conexiones flojas	9	69	9.78%
20	Desalineamiento	10	79	10.87%
28	Eje quebrado	7	86	7.61%
12	Refrigeración deficiente	6	92	6.52%
211		92		100%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Las principales causas de los problemas o situaciones de mantenimiento en electrobombas son limpieza con un 48.91%, desalineación y falla en condensador con un 10.87%.

Tabla 9. Tabla de frecuencias de mantenimiento en equipos de aire acondicionado agrupados por causa

Horas Mantenimiento	Causa	f	F	fr
430	Suciedad	90	90	42.25%
30	Capacitor averiado	25	115	11.74%
25	Fugas de gas	11	126	5.16%
45	Falta de gas	31	157	14.55%
20	Termostato averiado	18	175	8.45%
5	Tacos disparados	5	180	2.35%
25	Sensores defectuosos	23	203	10.80%
10	Fusible quemado	10	213	4.69%
590		213		100%

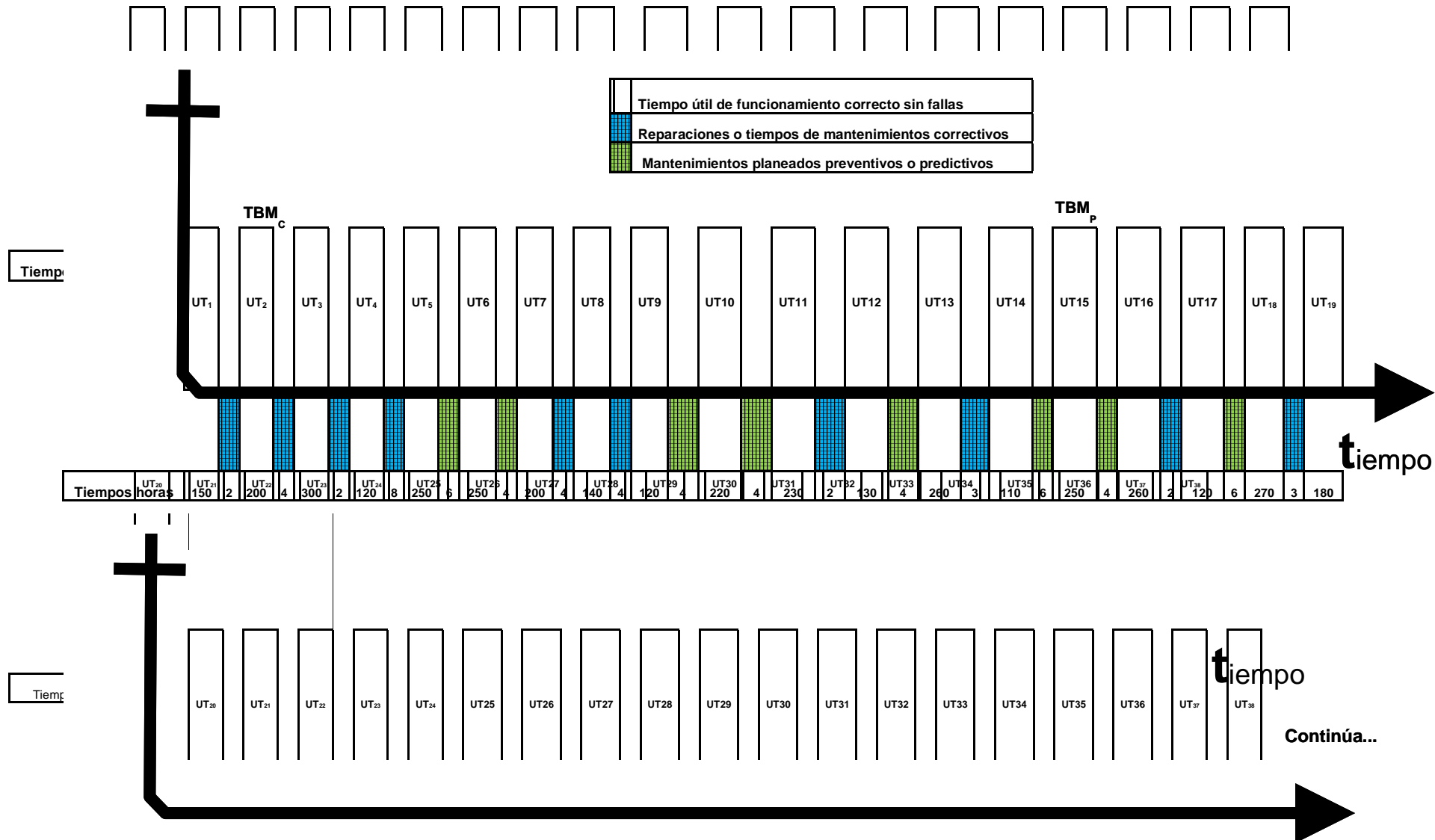
Fuente: Elaboración propia, 2020

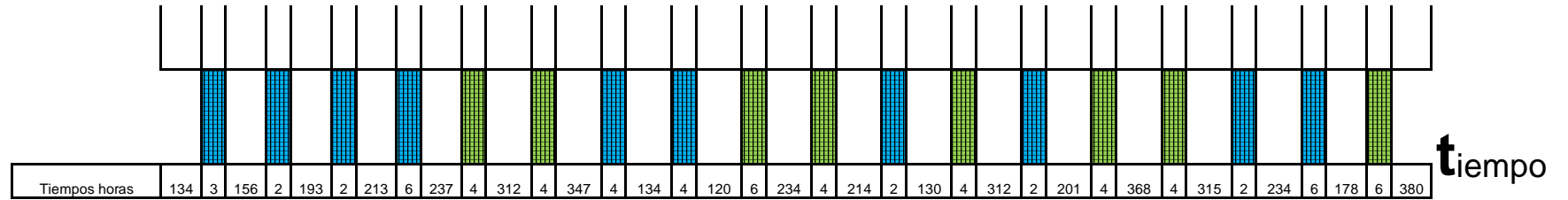
Las principales causas de los problemas o situaciones de mantenimiento en equipos de aire acondicionado son: suciedad con un 42.25%, falta de gas 14.55% y capacitor averiado 11.74%.

De manera gráfica y para efectos de poder adecuar y ajustar la información para su provecho en las siguientes etapas, se presenta a continuación la información y procesamiento de los registros de mantenimiento de los últimos 5 años para la planta generadora de energía Stewart y Stevenson.

Para los otros equipos se seguirá el mismo procedimiento para esta y las siguientes etapas, pero dada la gran extensión que implica colocar aquí los procedimientos para cada uno de los equipos, se registrarán aquí de manera detallada el proceso para determinar la táctica a seguir para la planta Stewart y Stevenson, para los demás equipos se colocarán solo los resultados de este proceso y su consecuente táctica.

	Tiempo útil de funcionamiento correcto sin fallas
	Reparaciones o tiempos de mantenimientos correctivos
	Mantenimientos planeados preventivos o predictivos

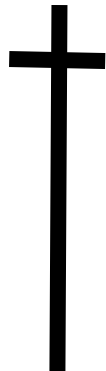




Tiempo útil de funcionamiento correcto sin fallas

Reparaciones o tiempos de mantenimientos correctivos

Mantenimientos planeados preventivos o predictivos



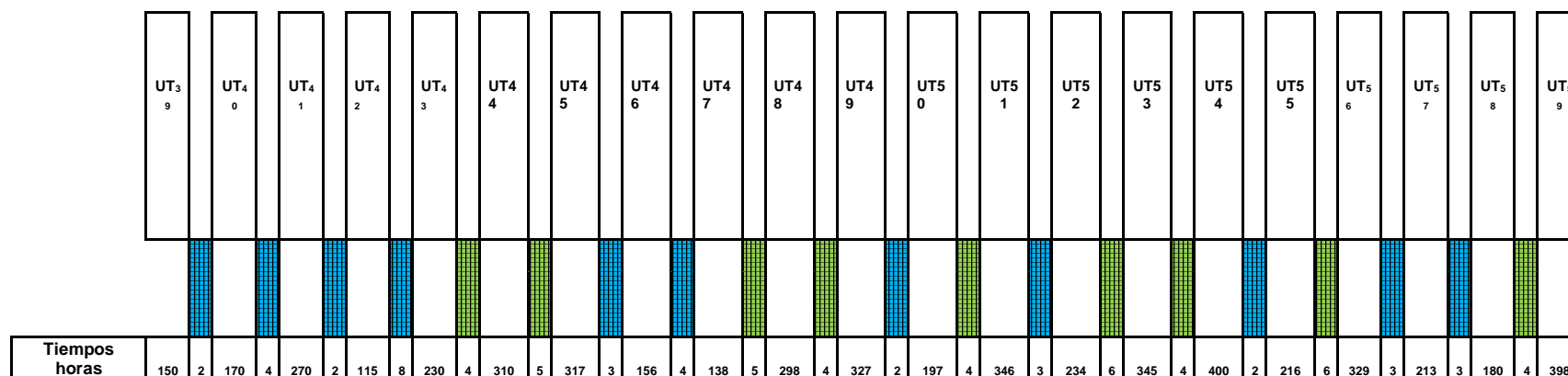
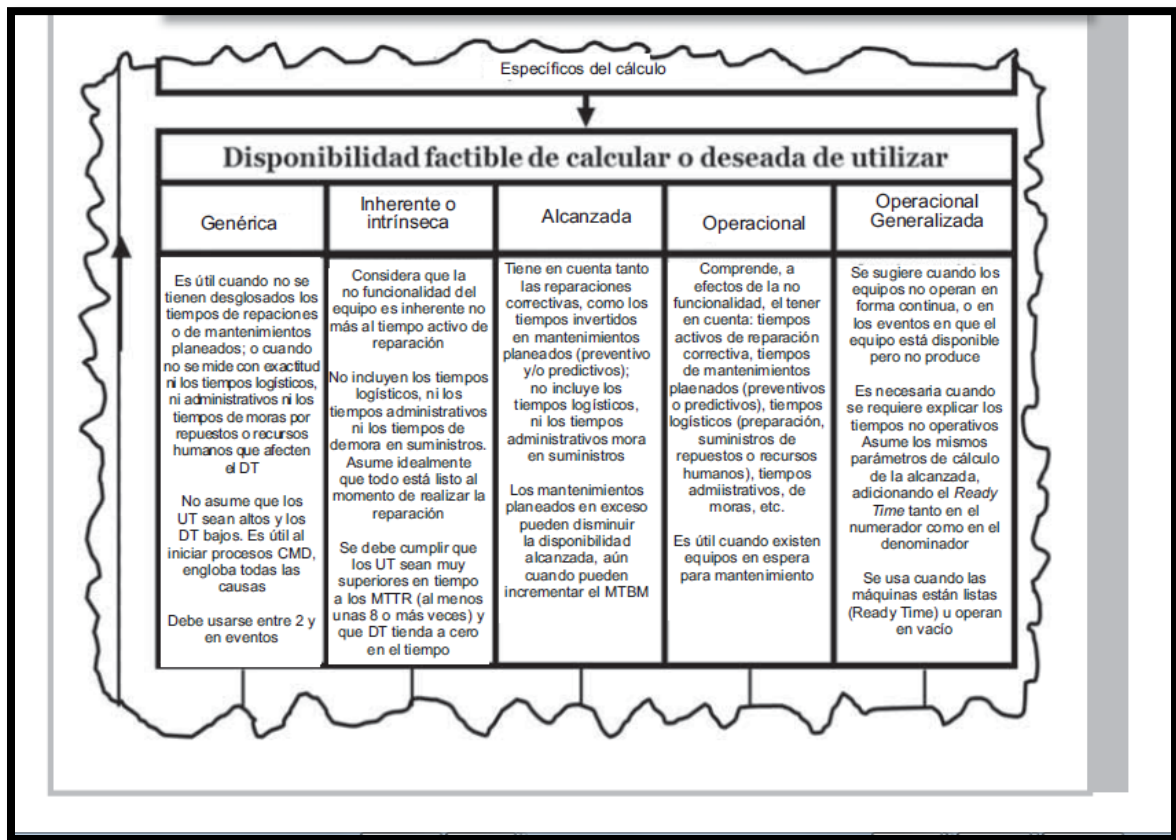


Figura 28. Mapa Planta Generadora de Energía Stewart y Stevenson

Fuente: Elaboración propia, 2020

Elemento 2 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 – Etapa 2**Figura 29. Segunda etapa de disponibilidad a usar en predicción CMD**

Fuente: Mora, 2014

Para el cálculo de los indicadores CMD de los equipos rotativos, se ha considerado la disponibilidad alcanzable, debido a que la información obtenida de los registros de mantenimiento discrimina entre los tiempos de mantenimiento preventivo programado y los tiempos de actividades correctivas (mantenimiento correctivo), sin tener en cuenta tiempos logísticos (LDT) y administrativos (ADT), en donde se asume que dichos tiempos son mínimos o inexistentes.

Las ecuaciones utilizadas para tal efecto es:

Donde:

$$D_{ALCANZABLE} = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

$$\overline{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_C} + \frac{M_P}{MTBM_P}}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}}$$

MTBM (Mean Time Between Maintenance) = es el tiempo medio entre mantenimientos

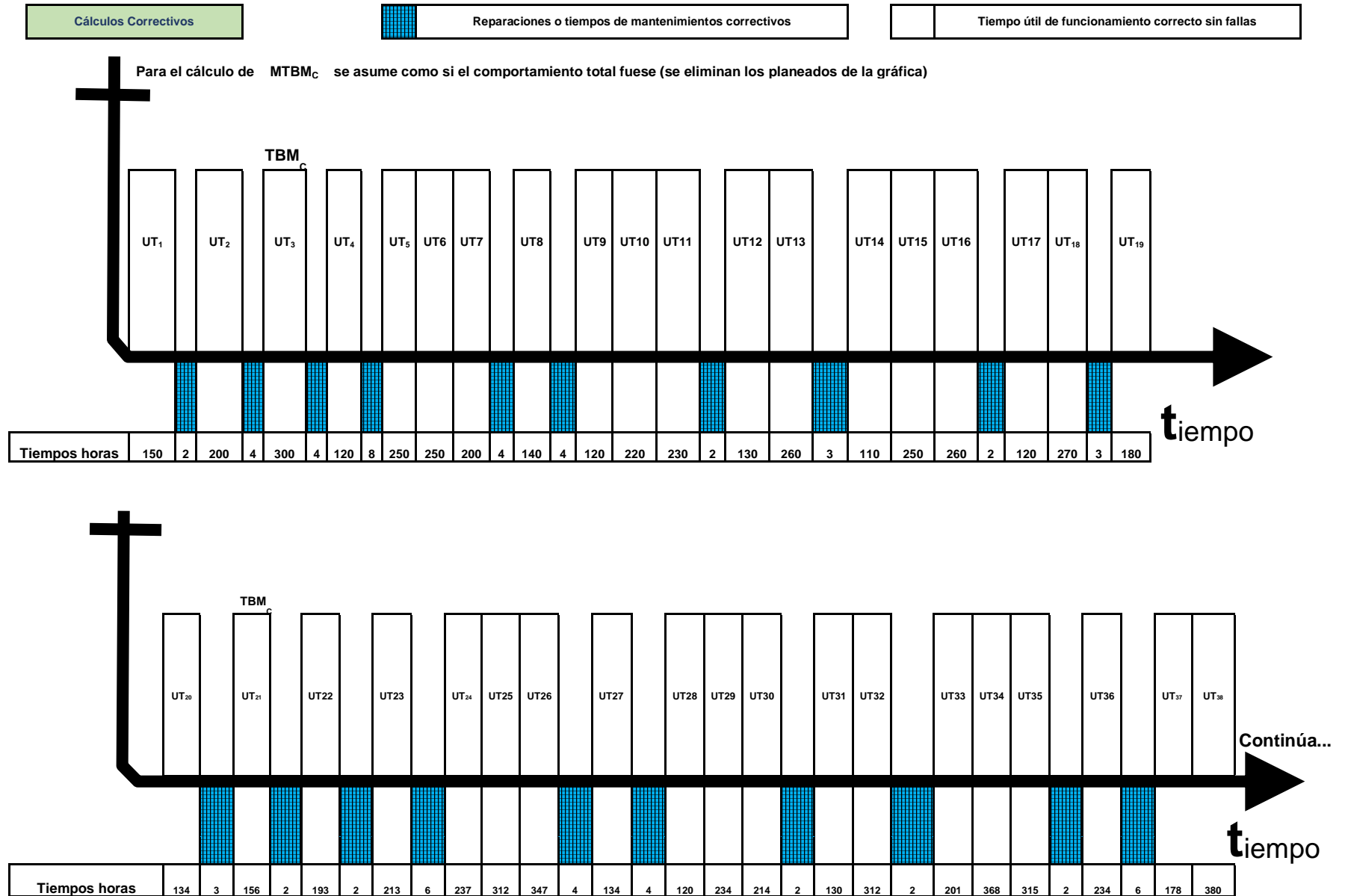
MTBM_c = es el tiempo medio entre mantenimientos no planeados.

MTBM_p = es el tiempo medio entre mantenimientos planeados.

MTTR (Mean Time To Repair) = es el tiempo neto medio para realizar reparaciones o mantenimientos correctivos, sin incluir las demoras logísticas, ni los retrasos administrativos; es el mismo que se define anteriormente.

M_p = es el tiempo neto medio para ejecutar tareas proactivas de mantenimientos planeados.

El M (Mean Time Active Maintenance) es el tiempo medio de mantenimiento activo que se requiere para realizar una tarea de mantenimiento.



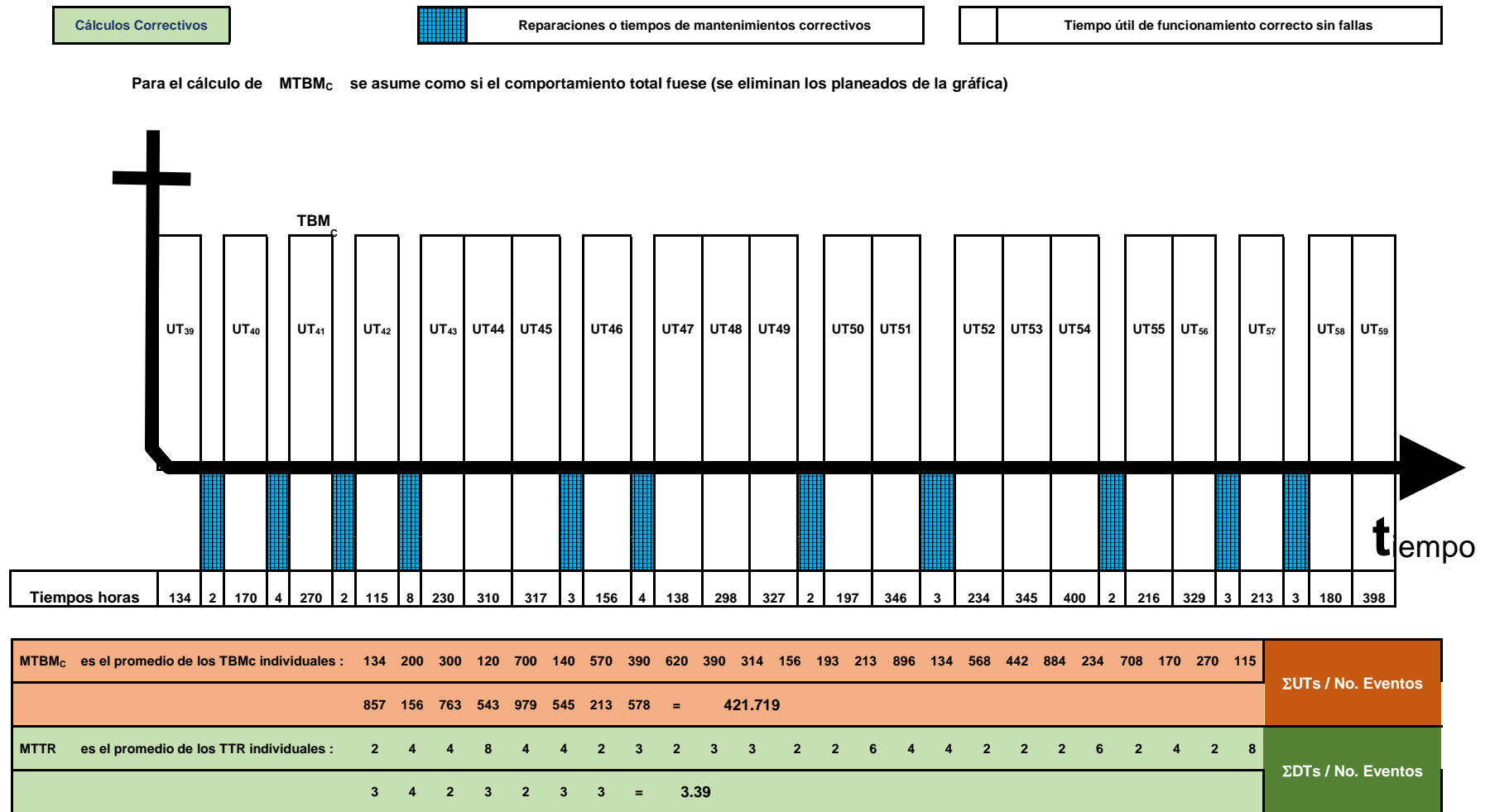


Figura 30. Cálculos Correctivos planta generadora de energía

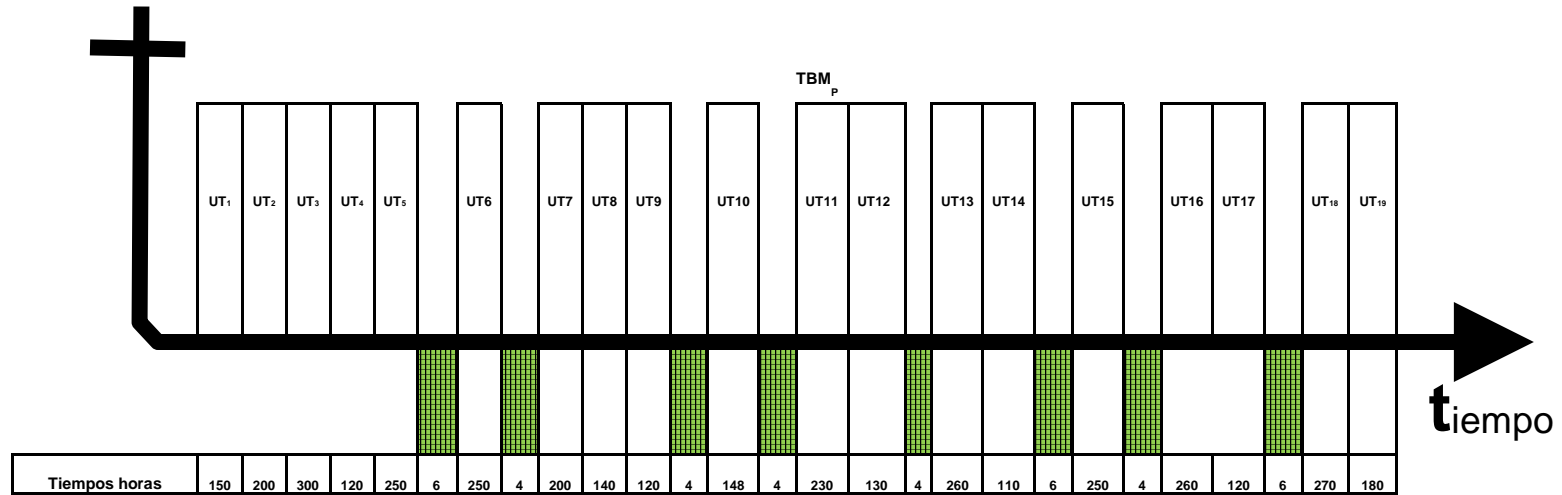
Fuente: Elaboración propia, 2020

Cálculos Preventivos

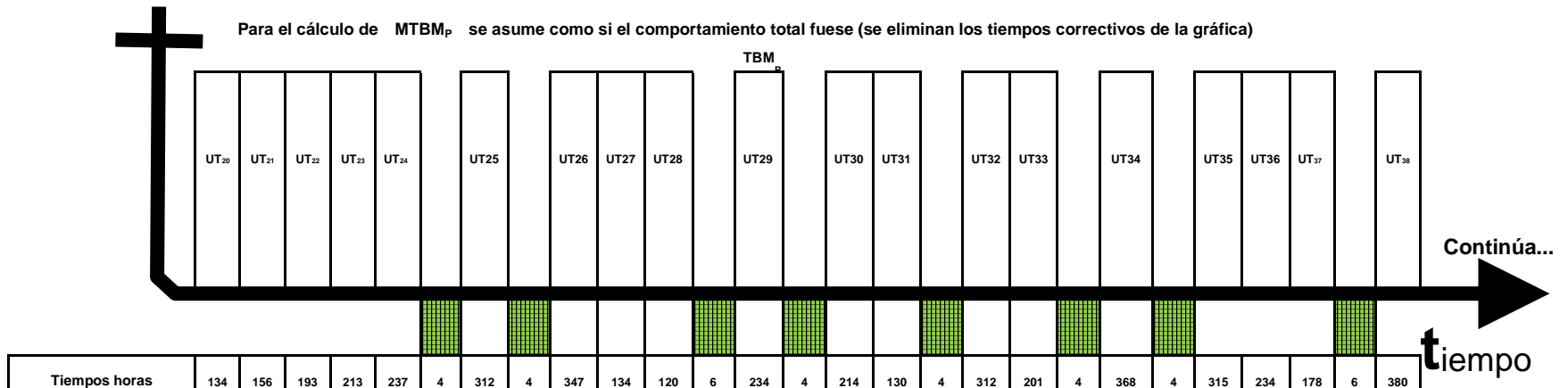
Mantenimientos planeados preventivos o predictivos

Tiempo útil de funcionamiento correcto sin fallas

Para el cálculo de $MTBM_p$ se asume como si el comportamiento total fuese (se eliminan los tiempos correctivos de la gráfica)



Para el cálculo de $MTBM_p$ se asume como si el comportamiento total fuese (se eliminan los tiempos correctivos de la gráfica)



PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA STEWART Y STEVENSON

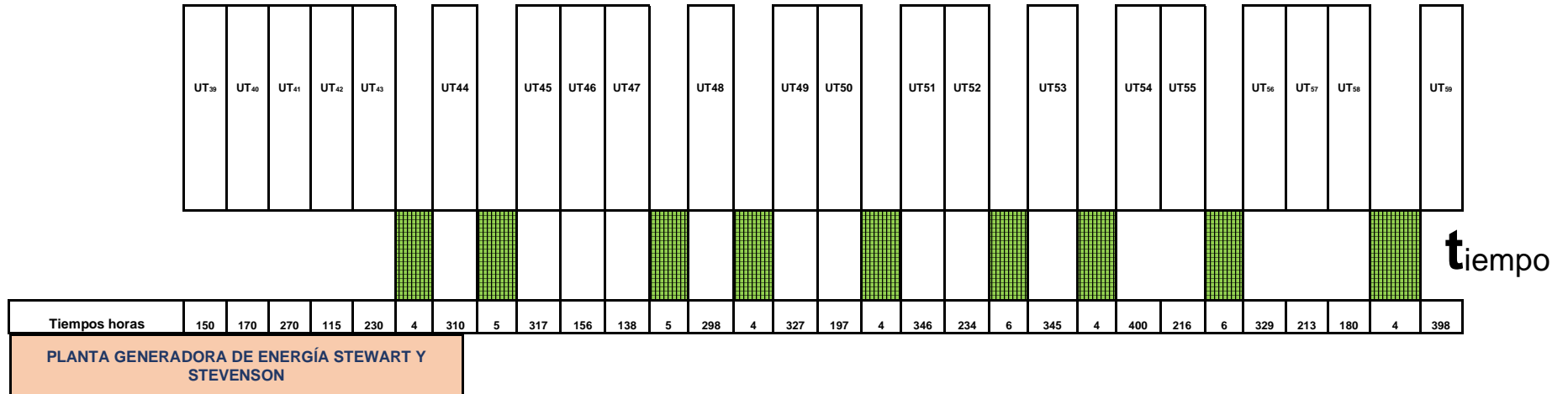
Cálculos Preventivos



Mantenimientos planeados preventivos o predictivos

Tiempo útil de funcionamiento correcto sin fallas

Para el cálculo de $MTBM_p$ se asume como si el comportamiento total fuese (se eliminan los tiempos correctivos de la gráfica)



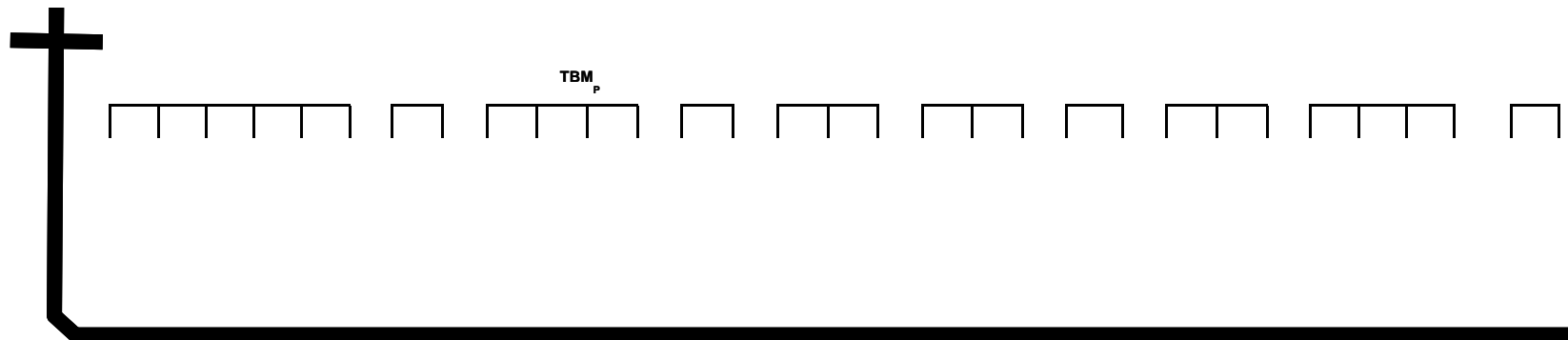
Cálculos Preventivos



Mantenimientos planeados preventivos o predictivos

Tiempo útil de funcionamiento correcto sin fallas

Para el cálculo de $MTBM_p$ se asume como si el comportamiento total fuese (se eliminan los tiempos correctivos de la gráfica)



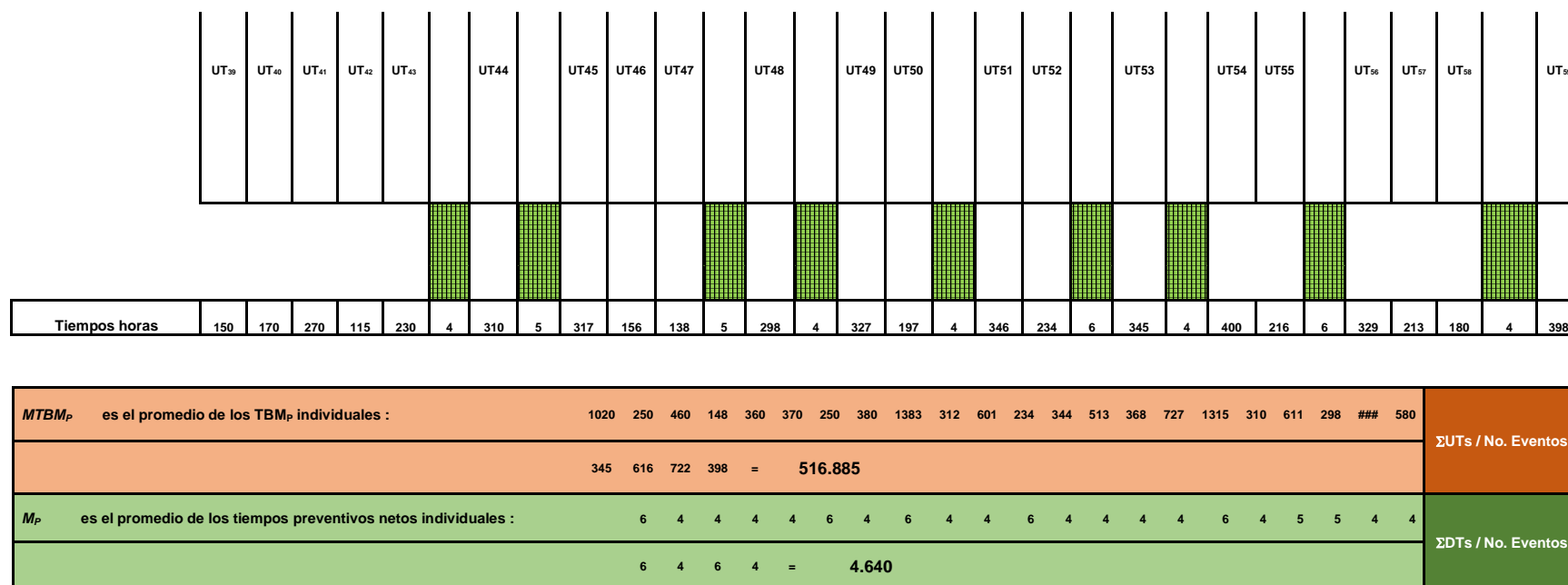


Figura 31. Cálculos Preventivos Planta generadora de energía
Fuente: Elaboración Propia

Figura 32. Cálculo de la disponibilidad alcanzada – método puntual.

$$\text{Disponibilidad Alcanzada} = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}}$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

$$\overline{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}}$$

$$\overline{M} = \frac{\frac{MTTR}{MTBM_c} + \frac{M_p}{MTBM_p}}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{\frac{3.39}{421.72} + \frac{4.64}{516.89}}{\frac{1}{421.72} + \frac{1}{516.89}} = 3.95$$

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_p}} = \frac{1}{\frac{1}{421.72} + \frac{1}{516.89}} = 232$$

$$\text{Disponibilidad Alcanzada} = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}} = \frac{232}{232 + 3.95} = 98.33\%$$

Elemento 3 del Artículo 1 del Aparte 3 de la sección 3 – Etapa 3

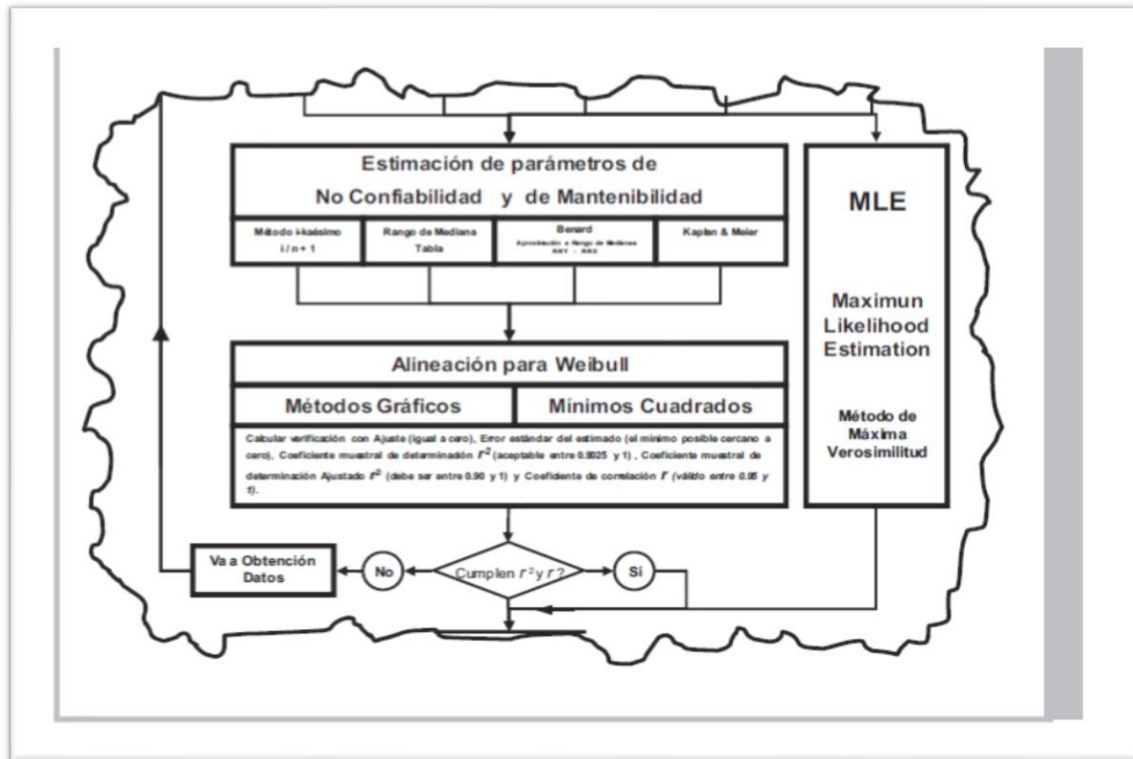


Figura 33. Tercera etapa de parametrización y alineación de Weibull, o de uso de MLE

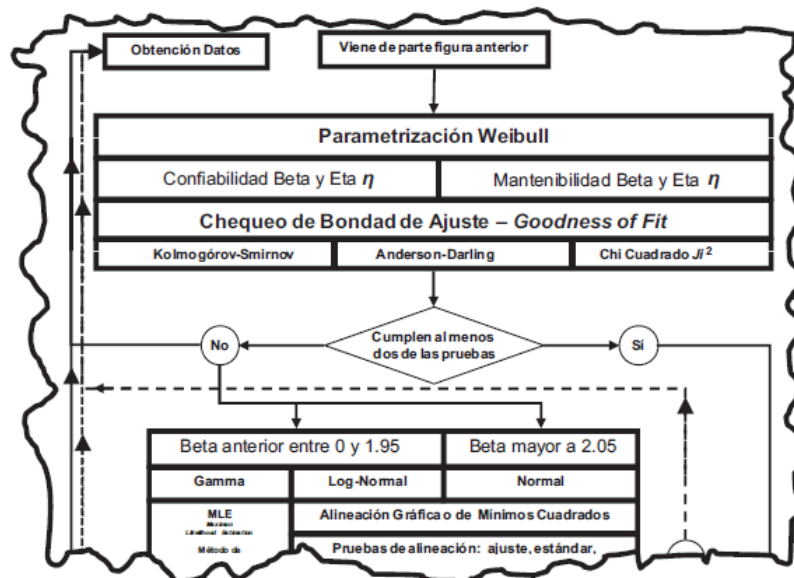
Fuente (Mora, 2014)

En la etapa tres se selecciona el método de la alineación, es decir, el de parametrización y alineación de Weibull, por ser menos complejo que el método de la verosimilitud y por ser más versátil. Aquí es donde se desarrollará la estimación de parámetros de no confiabilidad y de mantenibilidad.

Se realizarán cálculos por distribución con métodos de estimación como i-kaésimo, Rango de Mediana Tabla y Rango de Medianas de Bernard. El método de estimación de Kaplan & Meier no se utilizará debido a que sus valores siempre presentan las probabilidades más bajas.

En secuencia, en la etapa 4 se relizan los ajustes de Weibull. Estimaciones de parámetros para la obtención de Eta y Beta principalmente, tanto para mantenibilidad como para no confiabilidad.

Cuarta etapa de validación de ajuste y bondad de Weibull o búsqueda de otra función. **GRÁFICO 4.6**



Métodos de estimación

Tabla 10. No Confiabilidad - No Planeada

No. Dato	Datos de operación sin fallas en horas $TMBM_c$	Datos de operación sin fallas Ordenados de menor a mayor	Método i-kaésimo $F(t) = \frac{j}{N+1}$	F(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	F(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard
1	134	134	3.03%	2.14%	2.16%
2	200	115	6.06%	5.19%	5.25%
3	300	120	9.09%	8.27%	8.33%
4	120	134	12.12%	11.36%	11.42%
5	700	140	15.15%	14.45%	14.51%
6	140	156	18.18%	17.54%	17.59%
7	570	156	21.21%	20.63%	20.68%
8	390	170	24.24%	23.72%	23.77%
9	620	193	27.27%	26.81%	26.85%
10	390	200	30.30%	29.90%	29.94%
11	314	213	33.33%	32.99%	33.02%
12	156	213	36.36%	36.09%	36.11%
13	193	234	39.39%	39.18%	39.20%
14	213	270	42.42%	42.27%	42.28%
15	896	300	45.45%	45.36%	45.37%
16	134	314	48.48%	48.45%	48.46%
17	568	390	51.52%	51.55%	51.54%
18	442	390	54.55%	54.64%	54.63%
19	884	442	57.58%	57.73%	57.72%
20	234	543	60.61%	60.82%	60.80%
21	708	545	63.64%	63.92%	63.89%
22	170	568	66.67%	67.01%	66.98%
23	270	570	69.70%	70.10%	70.06%
24	115	578	72.73%	73.19%	73.15%
25	857	620	75.76%	76.28%	76.23%
26	156	700	78.79%	79.37%	79.32%
27	763	708	81.82%	82.47%	82.41%
28	543	763	84.85%	85.56%	85.49%
29	979	857	87.88%	88.65%	88.58%
30	545	884	90.91%	91.73%	91.67%
31	213	896	93.94%	94.81%	94.75%
32	578	979	96.97%	97.86%	97.84%
Media			50.00%	50.00%	50.00%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 11. Mantenibilidad

No. Dato	Datos de reparaciones en horas TTR	Datos de reparaciones en horas TTR(ASC)	Método i-kaésimo $M(t) = \frac{j}{N+1}$	M(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	M(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard
1	2	2	3.13%	2.21%	2.23%
2	4	2	6.25%	5.36%	5.41%
3	4	2	9.38%	8.53%	8.60%
4	8	2	12.50%	11.72%	11.78%
5	4	2	15.63%	14.91%	14.97%
6	4	2	18.75%	18.09%	18.15%
7	2	2	21.88%	21.28%	21.34%
8	3	2	25.00%	24.47%	24.52%
9	2	2	28.13%	27.67%	27.71%
10	3	2	31.25%	30.86%	30.89%
11	3	2	34.38%	34.05%	34.08%
12	2	2	37.50%	37.24%	37.26%
13	2	3	40.63%	40.43%	40.45%
14	6	3	43.75%	43.62%	43.63%
15	4	3	46.88%	46.81%	46.82%
16	4	3	50.00%	50.00%	50.00%
17	2	3	53.13%	53.19%	53.18%
18	2	3	56.25%	56.38%	56.37%
19	2	3	59.38%	59.57%	59.55%
20	6	4	62.50%	62.76%	62.74%
21	2	4	65.63%	65.95%	65.92%
22	4	4	68.75%	69.15%	69.11%
23	2	4	71.88%	72.34%	72.29%
24	8	4	75.00%	75.53%	75.48%
25	3	4	78.13%	78.72%	78.66%
26	4	4	81.25%	81.91%	81.85%
27	2	4	84.38%	85.10%	85.03%
28	3	6	87.50%	88.28%	88.22%
29	2	6	90.63%	91.47%	91.40%
30	3	8	93.75%	94.65%	94.59%
31	3	8	96.88%	97.79%	97.77%
Media			50.00%	50.00%	50.00%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 12. Confiabilidad Correctiva

No. Dato	Datos de operación sin fallas en horas $TMBM_c$	F(t) con Valores más altos	Dato No.	tj	Transformada F(t)
1	134	3.03%	1	134	3.03%
2	115	6.06%	2	115	6.06%
3	120	9.09%	3	120	9.09%
4	134	12.12%	4	134	12.12%
5	140	15.15%	5	140	15.15%
6	156	18.18%	7	156	21.21%
7	156	21.21%	8	170	24.24%
8	170	24.24%	9	193	27.27%
9	193	27.27%	10	200	30.30%
10	200	30.30%	12	213	36.36%
11	213	33.33%	13	234	39.39%
12	213	36.36%	14	270	42.42%
13	234	39.39%	15	300	45.45%
14	270	42.42%	16	314	48.48%
15	300	45.45%	18	390	54.64%
16	314	48.48%	19	442	57.73%
17	390	51.55%	20	543	60.82%
18	390	54.64%	21	545	63.92%
19	442	57.73%	22	568	67.01%
20	543	60.82%	23	570	70.10%
21	545	63.92%	24	578	73.19%
22	568	67.01%	25	620	76.28%
23	570	70.10%	26	700	79.37%
24	578	73.19%	27	708	82.47%
25	620	76.28%	28	763	85.56%
26	700	79.37%	29	857	88.65%
27	708	82.47%	30	884	91.73%
28	763	85.56%	31	896	94.81%
29	857	88.65%	32	979	97.86%
30	884	91.73%			
31	896	94.81%			
32	979	97.86%			

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 13. Mantenibilidad Correctiva

No. Dato	Datos de reparación en horas <i>MTTR</i>	M(t) con Valores más altos	Dato No.	tj	Transformada M(t)
1	2	3.13%	12	2	37.50%
2	2	6.25%	19	3	59.38%
3	2	9.38%	27	4	84.38%
4	2	12.50%	29	6	90.63%
5	2	15.63%	31	8	96.88%
6	2	18.75%			
7	2	21.88%			
8	2	25.00%			
9	2	28.13%			
10	2	31.25%			
11	2	34.38%			
12	2	37.50%			
13	3	40.63%			
14	3	43.75%			
15	3	46.88%			
16	3	50.00%			
17	3	53.13%			
18	3	56.25%			
19	3	59.38%			
20	4	62.50%			
21	4	65.63%			
22	4	68.75%			
23	4	71.88%			
24	4	75.00%			
25	4	78.13%			
26	4	81.25%			
27	4	84.38%			
28	6	87.50%			
29	6	90.63%			
30	8	93.75%			
31	8	96.88%			

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 14. Confiabilidad – Planeada

No. Dato	Datos de operación sin fallas en horas BM_P	Datos de operación sin fallas Ordenados de menor a mayor	Método i-kaésimo $F(t) = \frac{j}{N+1}$	F(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	F(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard
1	1020	148	3.70%	2.63%	2.65%
2	250	234	7.41%	6.37%	6.44%
3	460	250	11.11%	10.15%	10.23%
4	220	250	14.81%	13.94%	14.02%
5	360	298	18.52%	17.74%	17.80%
6	370	310	22.22%	21.53%	21.59%
7	250	312	25.93%	25.33%	25.38%
8	380	344	29.63%	29.12%	29.17%
9	1383	345	33.33%	32.92%	32.95%
10	312	360	37.04%	36.71%	36.74%
11	601	368	40.74%	40.51%	40.53%
12	234	370	44.44%	44.31%	44.32%
13	344	380	48.15%	48.10%	48.11%
14	513	398	51.85%	51.90%	51.89%
15	368	460	55.56%	55.70%	55.68%
16	727	513	59.26%	59.49%	59.47%
17	1315	524	62.96%	63.29%	63.26%
18	310	580	66.67%	67.08%	67.05%
19	611	601	70.37%	70.88%	70.83%
20	298	611	74.07%	74.68%	74.62%
21	524	616	77.78%	78.47%	78.41%
22	580	722	81.48%	82.27%	82.20%
23	345	727	85.19%	86.06%	85.98%
24	616	1020	88.89%	89.85%	89.77%
25	722	1315	92.59%	93.63%	93.56%
26	398	1383	96.30%	97.37%	97.35%
		Media	50.00%	50.00%	50.00%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 15. No Mantenibilidad - Planeada

No. Dato	Datos de planeados en horas MP	Datos de planeados en horas MP	Método i- kaésimo	M(t) con Aproximación Rango Mediana Tabla	M(t) redondeado con aproximación Rango Medianas Benard
1	6	4	3.85%	2.74%	2.76%
2	4	4	7.69%	6.62%	6.69%
3	4	4	11.54%	10.55%	10.63%
4	4	4	15.38%	14.49%	14.57%
5	4	4	19.23%	18.44%	18.50%
6	6	4	23.08%	22.38%	22.44%
7	4	4	26.92%	26.32%	26.38%
8	6	4	30.77%	30.27%	30.31%
9	4	4	34.62%	34.22%	34.25%
10	4	4	38.46%	38.16%	38.19%
11	6	4	42.31%	42.11%	42.13%
12	4	4	46.15%	46.05%	46.06%
13	4	4	50.00%	50.00%	50.00%
14	4	4	53.85%	53.95%	53.94%
15	4	4	57.69%	57.89%	57.87%
16	6	4	61.54%	61.84%	61.81%
17	4	5	65.38%	65.79%	65.75%
18	5	5	69.23%	69.73%	69.69%
19	5	6	73.08%	73.68%	73.62%
20	4	6	76.92%	77.62%	77.56%
21	4	6	80.77%	81.57%	81.50%
22	6	6	84.62%	85.51%	85.43%
23	4	6	88.46%	89.45%	89.37%
24	6	6	92.31%	93.38%	93.31%
25	4	6	96.15%	97.27%	97.24%
	Media		50.00%	50.00%	50.00%

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 16. No Confiabilidad Planeada

No. Dato	Datos de operación sin fallas en horas $MTBM_p$	F(t) con Valores más altos	No. Dato	tj	Transformada F(t)
1	148	3.70%	1	148	3.70%
2	234	7.41%	2	234	7.41%
3	250	11.11%	4	250	14.81%
4	250	14.81%	5	298	18.52%
5	298	18.52%	6	310	22.22%
6	310	22.22%	7	312	25.93%
7	312	25.93%	8	344	29.63%
8	344	29.63%	9	345	33.33%
9	345	33.33%	10	360	37.04%
10	360	37.04%	11	368	40.74%
11	368	40.74%	12	370	44.44%
12	370	44.44%	13	380	48.15%
13	380	48.15%	14	398	51.85%
14	398	51.85%	15	460	55.56%
15	460	55.56%	16	513	59.26%
16	513	59.26%	17	524	62.96%
17	524	62.96%	18	580	66.67%
18	580	66.67%	19	601	70.37%
19	601	70.37%	20	611	74.07%
20	611	74.07%	21	616	77.78%
21	616	77.78%	22	722	81.48%
22	722	81.48%	23	727	85.19%
23	727	85.19%	24	1020	88.89%
24	1020	88.89%	25	1315	92.59%
25	1315	92.59%	26	1383	96.30%
26	1383	96.30%			

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 17. Mantenibilidad Planeada

No. Dato	Datos de reparación en horas <i>MTTR</i>	M(t) con Valores más altos	Dato No.	tj	Transformada M(t)
1	4	3.85%	16	4	61.54%
2	4	7.69%	18	5	69.23%
3	4	11.54%	25	6	96.15%
4	4	15.38%			
5	4	19.23%			
6	4	23.08%			
7	4	26.92%			
8	4	30.77%			
9	4	34.62%			
10	4	38.46%			
11	4	42.31%			
12	4	46.15%			
13	4	50.00%			
14	4	53.85%			
15	4	57.69%			
16	4	61.54%			
17	5	65.38%			
18	5	69.23%			
19	6	73.08%			
20	6	76.92%			
21	6	80.77%			
22	6	84.62%			
23	6	88.46%			
24	6	92.31%			
25	6	96.15%			

Fuente: Elaboración propia, 2020

Cálculos de Regresión

Tabla 18. Weibull - No confiabilidad - Correctiva MTBMC

j	t _j	F(t _j)	Ln(Ln(1/(1-F(t _j)))) - Y de la regresión	Ln (t) de datos - X de la regresión	X _j * Y _j	X _j ²	Ŷ _j	Y _j - Ŷ _j	X _j - X̄	[X _j - X̄] ²	(X _j - X̄)(Y _j - Ȳ)	Y _j - Ȳ	[Y _j - Ȳ] ²	[Y _j - Ŷ _j] ²
1	134	3.03%	-3.48116	4.898	-17.0502	23.9888	-2.0190	-1.4622	-0.9639	0.9291	2.8891	-2.9973	8.9837	2.1379
2	115	6.06%	-2.77226	4.745	-13.1542	22.5144	-2.2625	-0.5097	-1.1168	1.2472	2.5557	-2.2884	5.2367	0.2598
3	120	9.09%	-2.35062	4.787	-11.2536	22.9201	-2.1947	-0.1559	-1.0742	1.1540	2.0053	-1.8667	3.4847	0.0243
4	134	12.12%	-2.04630	4.898	-10.0225	23.9888	-2.0190	-0.0273	-0.9639	0.9291	1.5060	-1.5624	2.4412	0.0007
5	140	15.15%	-1.80604	4.942	-8.9248	24.4198	-1.9492	0.1432	-0.9201	0.8466	1.2165	-1.3222	1.7481	0.0205
6	156	21.21%	-1.43376	5.050	-7.2403	25.5010	-1.7769	0.3431	-0.8119	0.6591	0.7712	-0.9499	0.9023	0.1177
7	170	24.24%	-1.28146	5.136	-6.5813	26.3764	-1.6400	0.3586	-0.7259	0.5270	0.5790	-0.7976	0.6361	0.1286
8	193	27.27%	-1.14428	5.263	-6.0220	27.6959	-1.4379	0.2936	-0.5990	0.3588	0.3956	-0.6604	0.4361	0.0862
9	200	30.30%	-1.01884	5.298	-5.3981	28.0722	-1.3812	0.3623	-0.5634	0.3174	0.3014	-0.5350	0.2862	0.1313
10	213	36.36%	-0.79411	5.361	-4.2574	28.7435	-1.2809	0.4868	-0.5004	0.2504	0.1553	-0.3102	0.0962	0.2370
11	234	39.39%	-0.69160	5.455	-3.7729	29.7605	-1.1311	0.4395	-0.4064	0.1652	0.0844	-0.2077	0.0432	0.1932
12	270	42.42%	-0.59408	5.598	-3.3259	31.3423	-0.9032	0.3091	-0.2633	0.0693	0.0290	-0.1102	0.0121	0.0956
13	300	45.45%	-0.50065	5.704	-2.8556	32.5331	-0.7354	0.2348	-0.1579	0.0249	0.0027	-0.0168	0.0003	0.0551
14	314	48.48%	-0.41054	5.749	-2.3603	33.0555	-0.6628	0.2522	-0.1123	0.0126	-0.0082	0.0733	0.0054	0.0636
15	390	54.64%	-0.23504	5.966	-1.4023	35.5949	-0.3176	0.0825	0.1044	0.0109	0.0260	0.2488	0.0619	0.0068
16	442	57.73%	-0.14955	6.091	-0.9110	37.1041	-0.1182	-0.0313	0.2296	0.0527	0.0768	0.3343	0.1118	0.0010
17	543	60.82%	-0.06507	6.297	-0.4097	39.6536	0.2095	-0.2746	0.4354	0.1896	0.1823	0.4188	0.1754	0.0754
18	545	63.92%	0.01925	6.301	0.1213	39.6999	0.2154	-0.1961	0.4391	0.1928	0.2209	0.5031	0.2531	0.0385
19	568	67.01%	0.10343	6.342	0.6560	40.2225	0.2812	-0.1778	0.4804	0.2308	0.2821	0.5873	0.3449	0.0316
20	570	70.10%	0.18840	6.346	1.1955	40.2671	0.2868	-0.0984	0.4839	0.2342	0.3253	0.6723	0.4519	0.0097
21	578	73.19%	0.27490	6.360	1.7482	40.4442	0.3090	-0.0341	0.4978	0.2478	0.3777	0.7588	0.5757	0.0012
22	620	76.28%	0.36385	6.430	2.3394	41.3413	0.4207	-0.0569	0.5680	0.3226	0.4815	0.8477	0.7186	0.0032
23	700	79.37%	0.45643	6.551	2.9901	42.9167	0.6140	-0.1576	0.6894	0.4752	0.6482	0.9403	0.8842	0.0248
24	708	82.47%	0.55461	6.562	3.6396	43.0657	0.6321	-0.0775	0.7007	0.4910	0.7277	1.0385	1.0784	0.0060
25	763	85.56%	0.66019	6.637	4.3819	44.0532	0.7513	-0.0911	0.7755	0.6014	0.8873	1.1441	1.3089	0.0083
26	857	88.65%	0.77747	6.753	5.2506	45.6089	0.9363	-0.1588	0.8917	0.7951	1.1247	1.2613	1.5910	0.0252
27	884	91.73%	0.91330	6.784	6.1962	46.0289	0.9857	-0.0724	0.9227	0.8514	1.2892	1.3972	1.9521	0.0052
28	896	94.81%	1.08466	6.798	7.3735	46.2120	1.0072	0.0775	0.9362	0.8765	1.4685	1.5685	2.4603	0.0060
N = 29	979	97.86%	1.34661	6.887	9.2735	47.4243	1.1483	0.1983	1.0248	1.0502	1.8759	1.8305	3.3507	0.0393
Suma					-59.7765	1010.5496	-14.0323	0.0000	0.0000	14.1131	22.4770	0.0000	39.6314	3.8339

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Fórmulas de cálculo para CMD Método Regresión

	$\bar{Y} = -0.48387$	$\bar{X} = 5.862$	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{Y}_j = 0.0000$	Ajuste
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j \cdot Y_j - n \cdot \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - n \cdot \bar{X}^2} = 1.5926$		$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} = 0.3768$	Error Estándar del Estimado o Variación o Error Típico
Intercepto	$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X} = -9.8194$		$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} = 0.9033$	Coefficiente de Determinación Muestral

$$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 \cdot \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} = 0.9504$$

Coefficiente de Correlación Múltiple

Se observa que la alineación cumple bien las pruebas de ajuste (0), coeficiente de determinación (mayor a 0.9025) y coeficiente de correlación (mayor a 0.95).

Tabla 19. Weibull - Estimación de Parámetros

Escala	$\text{Parámetro de Escala} = \eta = e^{\left[-\frac{a}{\beta} \right]} = e^{\left[-\frac{\text{Intersección}}{\text{Pendiente}} \right]}$	476.06257	Eta
Forma	$\text{Parámetro de Forma } \beta = b = \text{Pendiente estimada de la recta alineada}$	1.5926	Beta
MTBM_C=	$\eta * \text{Gamma } \Gamma (1 + 1/\beta) =$	427.0088	

Fuente: Elaboración propia, 2020

Prueba de Kolmogórov	Cumple	Las pruebas de bondad de ajuste se realizaron con el software Programa CMD de propiedad del autor del libro que se tomó como referencia para esta tesis (Mora, 2014).
Prueba de Anderson-Darling	Cumple	
Prueba de Ji2 Chi cuadrado	Cumple	

Tabla 20. Weibull - Mantenibilidad - Correctiva MTTR

	$\bar{t} = 0.37274$	$\bar{X} = 1.410$	$\hat{ajuste} = \sum Y_j - \hat{Y}_j = 0.0000$	Ajuste
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2}$	1.4274	$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} = 0.1832$	Error Estándar del Estimado o Variación o Error Típico
Intercepto	$a = \bar{Y} - b * \bar{X} =$	-1.6396	$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2} = 0.9606$	Coefficiente de Determinación Muestral

$$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} = 0.9801$$
 Coeficiente de Correlación Múltiple

Se observa que la alineación cumple bien las pruebas de ajuste (0), coeficiente de determinación (mayor a 0.9025) y coeficiente de correlación (mayor a 0.95).

j	t _j	M(t _j)	Ln(Ln(1/(1-F(t)))) - Y de la regresión	Ln (t) de datos - X de la regresión	X _j * Y _j	X _j ²	\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$ [X_j - \bar{X}]^2$	$(X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$	$ Y_j - \bar{Y} $	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[Y_j - \bar{Y}]^3$
1	2	37.50%	-0.75501	0.693	-0.5233	0.4805	-0.6503	0.1047	-0.7167	0.5137	0.8083	-1.1278	1.2718	0.0110
2	3	59.38%	-0.10449	1.099	-0.1148	1.2069	-0.0715	0.0330	-0.3112	0.0969	0.1485	-0.4772	0.2277	0.0011
3	4	84.38%	0.61858	1.386	0.8575	1.9218	0.3391	0.2795	-0.0236	0.0006	-0.0058	0.2458	0.0604	0.0781
4	6	90.63%	0.86168	1.792	1.5439	3.2104	0.9179	0.0562	0.3819	0.1459	0.1867	0.4889	0.2391	0.0032
N =	5	96.88%	1.24292	2.079	2.5846	4.3241	1.3285	0.0856	0.6696	0.4484	0.5827	0.8702	0.7572	0.0073
				Suma	4.3479	11.1437	1.8637	0.0000	0.0000	1.2053	1.7204	0.0000	2.5563	0.1006

Tabla 21. Mantenibilidad Correctiva

Prueba de Kolmogórov	Cumple	Las pruebas de bondad de ajuste se realizaron con el software Programa CMD de propiedad del autor del libro que se tomó como referencia para esta tesis (Mora, 2014).
Prueba de Anderson-Darling	Cumple	
Prueba de Ji2 Chi cuadrado	Cumple	

Escala	$\text{Parámetro de Escala} = \eta = e^{\left[-\frac{a}{\beta} \right]} = e^{\left[-\frac{\text{Intersección}}{\text{Pendiente}} \right]}$	3.1541404	Eta
Forma	$\text{Parámetro de Forma } \beta = b = \text{Pendiente estimada de la recta alineada.}$	1.4274	Beta
MTTR=	$\eta * \text{Gamma } \Gamma (1 + 1/\beta) =$	2.8663263	

j	t_j	F(t _j)	$\ln(\ln(1/(1-F(t_j)))) - Y$ de la regresión	Ln de datos - X de la regresión	$X_j * Y_j$	X_j^2	\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$[X_j - \bar{X}]^2$	$(X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$	$ Y_j - \bar{Y} $	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[Y_j - \hat{Y}_j]^2$		
1	148	3.70%	-3.27703	4.997	-16.3760	24.9721	-2.6914	-0.5856	-1.1314	1.2800	3.1783	-2.8092	7.8918	0.3429		
2	234	7.41%	-2.56446	5.455	-13.9899	29.7605	-1.7910	-0.7734	-0.6732	0.4533	1.4116	-2.0967	4.3960	0.5982		
3	250	14.81%	-1.83044	5.521	-10.1067	30.4865	-1.6610	-0.1694	-0.6071	0.3686	0.8273	-1.3627	1.8568	0.0287		
4	298	18.52%	-1.58575	5.697	-9.0342	32.4569	-1.3158	-0.2699	-0.4315	0.1862	0.4824	-1.1180	1.2498	0.0729		
5	310	22.22%	-1.38105	5.737	-7.9225	32.9083	-1.2382	-0.1428	-0.3920	0.1537	0.3580	-0.9133	0.8340	0.0204		
6	312	25.93%	-1.20362	5.743	-6.9124	32.9821	-1.2256	0.0220	-0.3856	0.1487	0.2837	-0.7358	0.5415	0.0005		
7	344	29.63%	-1.04584	5.841	-6.1084	34.1131	-1.0337	-0.0121	-0.2879	0.0829	0.1664	-0.5780	0.3341	0.0001		
8	345	33.33%	-0.90272	5.844	-5.2751	34.1470	-1.0280	0.1253	-0.2850	0.0812	0.1240	-0.4349	0.1892	0.0157		
9	360	37.04%	-0.77084	5.886	-4.5373	34.6462	-0.9443	0.1735	-0.2425	0.0588	0.0735	-0.3031	0.0918	0.0301		
10	368	40.74%	-0.64770	5.908	-3.8267	34.9054	-0.9011	0.2534	-0.2205	0.0486	0.0397	-0.1799	0.0324	0.0642		
11	370	44.44%	-0.53139	5.914	-3.1424	34.9695	-0.8905	0.3591	-0.2151	0.0463	0.0137	-0.0636	0.0040	0.1290		
12	380	48.15%	-0.42041	5.940	-2.4973	35.2856	-0.8381	0.4177	-0.1884	0.0355	-0.0089	0.0474	0.0022	0.1744		
13	398	51.85%	-0.31350	5.986	-1.8767	35.8376	-0.7471	0.4336	-0.1421	0.0202	-0.0219	0.1543	0.0238	0.1880		
14	460	55.56%	-0.20957	6.131	-1.2849	37.5919	-0.4626	0.2530	0.0027	0.0000	0.0007	0.2582	0.0667	0.0640		
15	513	59.26%	-0.10765	6.240	-0.6718	38.9410	-0.2482	0.1406	0.1117	0.0125	0.0402	0.3601	0.1297	0.0198		
16	524	62.96%	-0.00677	6.261	-0.0424	39.2063	-0.2065	0.1998	0.1329	0.0177	0.0613	0.4610	0.2125	0.0399		
17	580	66.67%	0.09405	6.363	0.5984	40.4881	-0.0070	0.1010	0.2345	0.0550	0.1317	0.5618	0.3157	0.0102		
18	601	70.37%	0.19589	6.399	1.2534	40.9420	0.0629	0.1330	0.2700	0.0729	0.1792	0.6637	0.4405	0.0177		
19	611	74.07%	0.30005	6.415	1.9249	41.1535	0.0954	0.2047	0.2865	0.0821	0.2200	0.7678	0.5896	0.0419		
20	616	77.78%	0.40818	6.423	2.6218	41.2581	0.1114	0.2968	0.2947	0.0868	0.2581	0.8760	0.7673	0.0881		
21	722	81.48%	0.52260	6.582	3.4397	43.3231	0.4235	0.0991	0.4535	0.2056	0.4491	0.9904	0.9809	0.0098		
22	727	85.19%	0.64686	6.589	4.2621	43.4140	0.4370	0.2098	0.4604	0.2119	0.5131	1.1147	1.2424	0.0440		
23	1020	88.89%	0.78720	6.928	5.4533	47.9911	1.1026	-0.3154	0.7990	0.6384	1.0027	1.2550	1.5750	0.0995		
24	1315	92.59%	0.95655	7.182	6.8695	51.5753	1.6019	-0.6453	1.0530	1.1089	1.4999	1.4243	2.0287	0.4165		
25	1383	96.30%	1.19266	7.232	8.6253	52.3020	1.7010	-0.5083	1.1034	1.2176	1.8322	1.6604	2.7571	0.2584		
Suma					-58.5560	945.6572	-11.6947	0.0000	0.0000	6.6731	13.1158	0.0000	28.5537	2.7749		

	\bar{Y} -0,46779	\bar{X} 6,129	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{Y}_j =$	0,0000	Ajuste
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} =$	1,9655	$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} =$	0,3473	Error Estándar del Estimado o Variación o Error Típico
Intercepto	$a = \bar{Y} - b * \bar{X} =$	-12,5133	$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}$	0,9028	Coefficiente de Determinación Muestral

$$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} =$$

0,9502

Coeficiente de Correlación Múltiple

Figura 34. Tabla 22. Weibull - No confiabilidad - Planeada MTBMP

Fuente: Elaboración propia, 2020

Se observa que la alineación cumple bien las pruebas de ajuste (0), coeficiente de determinación (mayor a 0.9025) y coeficiente de correlación (mayor a 0.95).

Weibull - Estimación de Parámetros

Escala	$Parámetro \ de \ Escala \ = \ \eta \ = \ e^{\left[-\frac{a}{\beta \ eta} \right]} \ = \ e^{\left[-\frac{Inter \ sec \ ción}{Pendiente} \right]}$	582,05959	Eta
Forma	$Parámetro \ de \ Forma \ \beta \ eta \ = \ b \ = \ Pendiente \ estimada \ de \ la \ recta \ alineada \ .$	1,9655	Beta
MTBM_p	$\eta * Gamma \ \Gamma (1 + 1/\beta) =$	516,02082	

Figura 35. Estimación de Parámetros No confiabilidad

Prueba de Kolmogórov	Cumple	Las pruebas de bondad de ajuste se realizaron con el software Programa CMD de propiedad del autor del libro que se tomó como referencia para esta tesis (Mora, 2014).
Prueba de Anderson-Darling	Cumple	
Prueba de Ji2 Chi cuadrado	Cumple	

Weibull - Mantenibilidad - Planeada MP

	j	t _j	M(t _j)	Ln (Ln(1/(1-F(t)))) Y de la regresión	Ln (t) de datos - X de la regresión	X _j * Y _j	X _j ²	\hat{Y}_j	$ Y_j - \hat{Y}_j $	$ X_j - \bar{X} $	$[X_j - \bar{X}]^2$	$(X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$	$ Y_j - \bar{Y} $	$[Y_j - \bar{Y}]^2$	$[Y_j - \hat{Y}_j]^2$
N =	1	4	61,54 %	-0,04551	1,386	-0,0631	1,9218	-0,1845	0,1390	-0,2095	0,0439	0,1003	-0,4788	0,2293	0,0193
	2	5	69,23 %	0,16437	1,609	0,2645	2,5903	0,4735	-0,3091	0,0136	0,0002	-0,0037	-0,2690	0,0723	0,0955
	3	6	96,15 %	1,18114	1,792	2,1163	3,2104	1,0110	0,1701	0,1959	0,0384	0,1465	0,7478	0,5592	0,0289
					Suma	2,3178	7,7225	1,3000	0,0000	0,0000	0,0825	0,2432	0,0000	0,8608	0,1438

Figura 36. Mantenibilidad Planeada MP Pruebas y cálculos de regresión

Fuente: Elaboración Propia, 2020

	\bar{Y} 0,43334	\bar{X} 1,596	$Ajuste = \sum Y_j - \hat{Y}_j =$ 0,0000	Ajuste
Pendiente	$b = \frac{\sum_{j=1}^N X_j * Y_j - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{j=1}^N X_j^2 - N * \bar{X}^2} =$	2,9485	$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{N - 2}} =$ 0,3792	Error Estándar del Estimado o Variación o Error Típico
Intercepto	$a = \bar{Y} - b * \bar{X} =$	-4,2720	$r^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N (Y_j - \hat{Y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}$ 0,8330	Coefficiente de Determinación Muestral

$$r = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X}) * (Y_j - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (X_j - \bar{X})^2 * \sum_{j=1}^N (Y_j - \bar{Y})^2}} =$$
 0,9127

Coefficiente de Correlación Múltiple

Fuente: Elaboración Propia, 2020

Se observa que la alineación cumple bien las pruebas de ajuste (0), coeficiente de determinación (mayor a 0.9025) y coeficiente de correlación (mayor a 0.95).

Weibull - Estimación de Parámetros

Escala	$\text{Parámetro de Escala} = \eta = e^{\left[\frac{a}{\beta} \right]} = e^{\left[\frac{\text{Intersección}}{\text{Pendiente}} \right]}$	4,258277	Eta
Forma	$\text{Parámetro de Forma } \beta = b = \text{Pendiente estimada de la recta alineada.}$	2,9485	Beta
$M_p =$	$\lambda + \eta * \text{Gamma } \Gamma (1 + 1/\beta) =$	3,7997052	

Figura 37. Estimación de Parámetros Mantenibilidad planeada

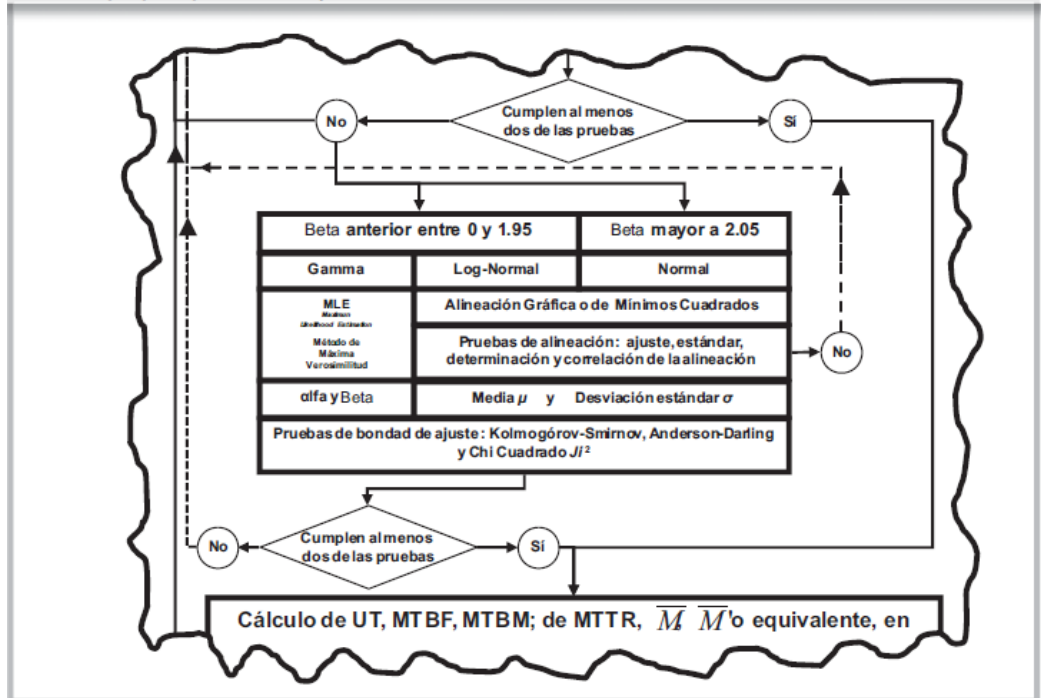
Fuente: Elaboración propia, 2020

Prueba de Kolmogórov	Cumple	Las pruebas de bondad de ajuste se realizaron con el software Programa CMD de propiedad del autor del libro que se tomó como referencia para esta tesis (Mora, 2014).
Prueba de Anderson-Darling	Cumple	
Prueba de Ji2 Chi cuadrado	Cumple	

Etapa 5:

Quinta etapa, para parametrizar y alinear o MLE de otra función.

GRÁFICO 4.7



Esta etapa no es necesaria realizarla para las circunstancias específicas de los datos analizados, puesto que como lo indica la figura(XX), si se cumple con al menos dos pruebas, se continúa con la siguiente etapa y los datos muestran que se cumple.

ETAPA 6

En la etapa 6 se realizan los cálculos CMD propiamente dichos. A continuación se relizan los cálculos respectivos basados en los datos de las etapas anteriores por distribución.

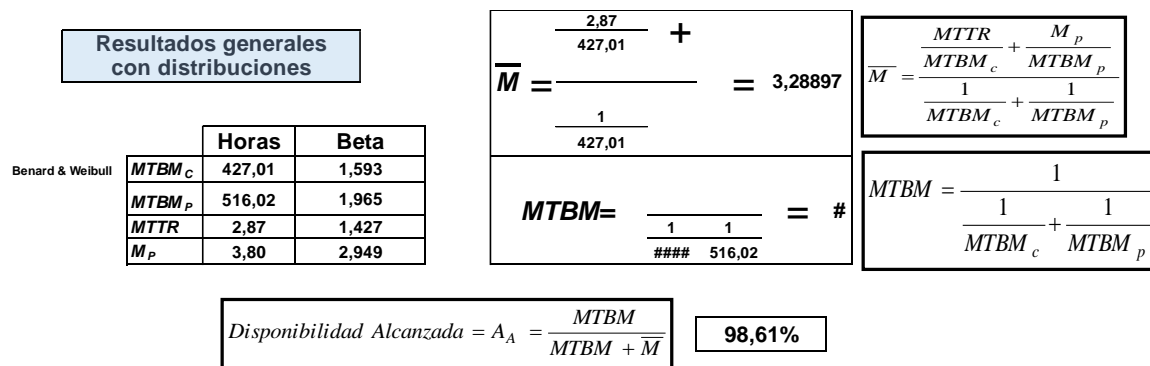


Figura 38. Resultados generales con distribuciones

Fuente: Elaboración propia, 2020

Se observa que el MTBM del cálculo puntual de la disponibilidad alcanzada en la figura 32 es menor que la misma mediante el cálculo por distribución. A su vez, el MTTR es del cálculo puntual de la misma figura es mayor que el realizado mediante el cálculo por distribución. En ambos casos es más preciso con distribución, debido a que las diferentes operaciones matemáticas y estadísticas utilizadas lo hacen más exigente, además, existe un solo valor de beta o Eta para $MTBM$ y $MTTR$.

El mismo procedimiento se siguió para las demás plantas generadoras de energía, pretender colocar los cálculos en detalle para los demás equipos, haría muy extenso este trabajo; por lo que se muestran sus respectivos resultados:

Planta Generadora de Energía Power Max

	Horas	Beta
MTBM_C	380	1.751
MTBM_P	467	2.043
MTTR	2367	1.563
MP	3.1	2.872

Planta Generadora de Energía Eco Power

	Horas	Beta
MTBM_C	397	1.687
MTBM_P	372	2.013
MTTR	2101	1.784
MP	2.9	2.503

Planta Generadora de Energía Eco Horse

	Horas	Beta
MTBM_C	432	1.725
MTBM_P	521	2.172
MTTR	2.931	1.596
MP	3.9	2.683

Para las electrobombas, los resultados de los cálculos fueron los siguientes:

. Electrobomba- Pedrollo Hmax56

	Horas	Beta
MTBM_C	392	1.879
MTBM_P	412	2.231
MTTR	2.35	1.854
MP	3.4	2.901

Electrobomba- Pedrollo Hmax110

	Horas	Beta
MTBM_C	359	1.893
MTBM_P	499	2.351
MTTR	2.76	1.546
MP	3.7	2.398

Electrobomba Barnes 2Hp

	Horas	Beta
MTBM_C	415	1.768
MTBM_P	470	2.398
MTTR	2.546	1.938
MP	3.6	2.476

Electrobomba - Agua Park– 601 GPM

	Horas	Beta
MTBM_C	397	1.725
MTBM_P	461	2.172
MTTR	2.786	1.596
MP	3.4	2.683

En cuanto a los equipos de aire acondicionado, se consideran no críticos, debido a que no interrumpen o afectan a corto plazo el normal desempeño de las actividades propias de UNIPAZ. Es por ello, que simplemente se implementarán acciones correctivas y preventivas para dichos equipos.

Para el resto de los equipos descritos en este trabajo y de acuerdo a los cálculos realizados para obtener Beta y siguiendo los parámetros indicados en la figura 14, la táctica más adecuada a implementar es la del Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Sección 4 – Plan Gestión de Mantenimiento

Aparte 1 - Sección 4- Objetivo número 4

CUATRO – Desglosar el plan de gestión de mantenimiento para equipos rotativos que identifiquen las fases o etapas a seguir para su correcta implementación, analizado por el método TPM. Nivel cuatro Analizar - Escala de Bloom & Gagné.

Aparte 2 - Sección 4 - Introducción Sección 4

En esta sección se presentarán conceptos sobre TPM y una descripción sobre el plan de gestión de mantenimiento a implementar en UNIPAZ basado en el Mantenimiento Productivo Total.

Aparte 3 - Sección 4 - Desarrollo de capítulo 4

Artículo 1 del Aparte 3 Sección 4 – Conceptos y generalidades de TPM

TPM es una filosofía (táctica) de mantenimiento cuyo objetivo principal es el de eliminar las pérdidas de recursos debido al estado de los equipos, por lo que ayuda a mantener los equipos en estado de buen funcionamiento y disponibilidad. Esto implica:

- Cero averías
- Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos
- No afectación del rendimiento de las actividades operativas de la empresa debido al mal funcionamiento de estos de los equipos

En el TPM se considera que una máquina averiada está en una situación intolerable que obstaculiza el buen funcionamiento de la empresa produciendo pérdidas. Por lo que se deben tomar acciones a resolver esa avería. Se establecen bajo esta táctica seis factores de pérdidas que interfieren negativamente en el nivel de competitividad de la empresa desde el punto de vista operacional:

1. Fallos del equipo, que afectan críticamente las operaciones de la empresa.
2. Inoperancia de los equipos que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación u otra etapa de ella.
3. Detenciones menores (averías menores).
4. El equipo no funciona a su capacidad máxima o adecuada.
5. Pérdidas de tiempo propias de la puesta en marcha de equipos nuevos que tengan un papel crítico en el desarrollo de las actividades operativas de la empresa.
6. Defectos en el proceso.

El análisis cuidadoso de cada una de estas causas de baja productividad o eficiencia operacional lleva a encontrar las soluciones para eliminarlas y los medios para implementar estas últimas. Es fundamental la participación de todo el personal de la empresa, debido a que las soluciones deben ser adoptadas en forma integral para que tengan éxito.

Artículo 2 del Aparte 3 Sección 4 – Desglose de la implementación del Plan de Gestión del Mantenimiento basado en TPM en UNIPAZ

Se requieren de 8 pasos para su implementación:

1. Anuncio de la alta dirección
2. Campaña de capacitación
3. Creación de equipos de implementación

Se manifiesta la intención de implementar el TPM para la institución.

FECHA: _____ HORA: _____

OBJETIVO: _____

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

[illegible]

--	--	--

NOMBRE	ACTIVIDAD	FECHA COMPROMISO

FECHA PRÓXIMA REUNIÓN

Figura 39. Formato acta de reunión con la Alta Dirección

Fuente: Elaboración propia, 2020

Elemento 2 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 2 Sensibilización

Entrenamiento a las distintas áreas de la institución.

CAPACITACIÓN

TEMA: _____

RESPONSABLE: _____

DURACIÓN: _____

LUGAR: _____

FECHA: _____

ASISTENTES		
NOMBRE	CARGO	CORREO

Figura 40. Formato de registro para la Sensibilización a todo el personal de la Institución

Fuente: Elaboración propia, 2020

Elemento 3 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 3 Creación de equipos de implementación

Organización piramidal de los equipos de implementación.

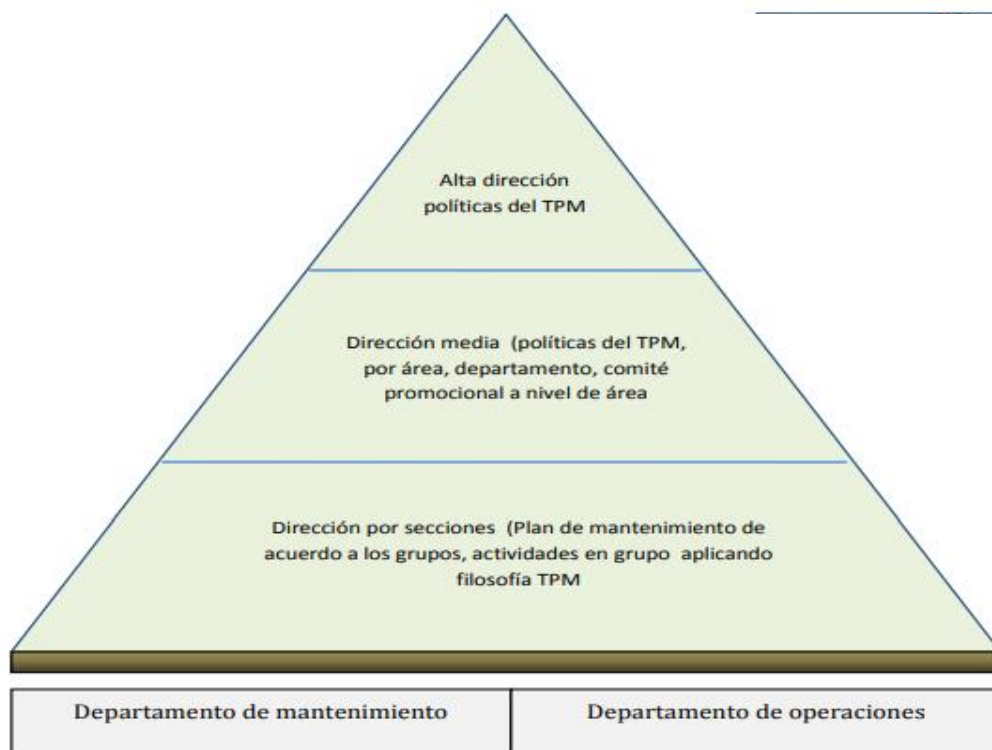


Figura 41. Organización Piramidal

Fuente: (Mora, 2014)

Elemento 4 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 4 Directrices estratégicas y operativas

En este paso se establecerán las políticas y metas del plan de mantenimiento de la institución.

Elemento 5 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 5 Plan maestro de gestión de mantenimiento de equipos

LOGO	FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS
IMAGEN DEL EQUIPO	
DATOS GENERALES	
NOMBRE	
MARCA	
SERIE	
AÑO FABRICACIÓN	
# INVENTARIO	
CARACTERÍSTICAS	
POTENCIA	
PRESIÓN MÁXIMA	
TIPO DE COMBUSTIBLE	
UBICACIÓN	

Figura 43. Ficha Técnica de los Equipos

[illegible]

LOGO		MATERIALES Y SUMINISTROS PARA MANTENIMIENTO DE EQUIPOS									
ITEM	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	MARCA	PROVEEDOR1	PROVEEDOR2	CIUDAD	PRESENTACIÓN	PRECIO	CANTIDAD	COSTO	DEMORA
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
										TOTAL	

Figura 45. Formatos Diagrama Analítico de Proceso DAP

Elemento 6 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 6 Retroalimentación del TPM

La medición del desempeño de los equipos se realiza a partir de la obtención de datos

recolectados en los siguientes formatos:

[illegible]

Figura 46. Formato Hoja de Vida del Equipo

Elemento 7 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 7 Gestión del plan del TPM

Es donde se realiza el control de los indicadores de mantenimiento estrechamente relacionados con el CMD y con los 6 tipos o factores de pérdidas especificadas anteriormente para el TPM, con base en el análisis de registros históricos de mantenimiento.

Elemento 8 del Artículo 2 del Aparte 3 de la sección 4 – Paso 8 Mejora continua

Se elabora la auditoría del mantenimiento empleando las 5's

LOGO		AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO DE TRABAJO		EMPRESA	
CATEGORÍA:		UNIDAD DE OPERACIÓN:	
AUDITORÍA:		FECHA:	
APROBADO:		RESULTADO:	
#	DESCRIPCIÓN	PESO (10)	PONDERACIÓN (%)
1	ORGANIZACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO		
2	PLANEACIÓN DEL MANTENIMIENTO		
3	EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO		
4	HABILIDAD DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO		
5	ABASTECIMIENTO DE RECURSOS		
		TOTAL (%)	

Figura 49. Formato Auditoría de Mantenimiento

LOGO	CHECKLIST AREA DE TRABAJO	
CALIFIQUE 0: SIN IMPLEMENTAR 1: EN PROCESO 2: IMPLEMENTADO Y FUNCIONANDO		
SEPARAR - SEIRI		
EL PUESTO DE TRABAJO SOLO CUENTA CON EL MATERIAL NECESARIO PARA TRABAJAR		
LOS ELEMENTOS INNECESARIOS SON ELIMINADOS DEL LUGAR DE TRABAJO		
EXISTEN STOKS INNECESARIOS DE MATERIALES INNECESARIOS		
EXISTE UN SISTEMA PROCEDIMENTADO PARA RETIRAR MATERIALES INNECESARIOS		
LOS EMPLEADOS CONOCEN Y CUMPLEN CON EL SISTEMA PARA IDENTIFICAR MATERIALES INNECESARIOS		
		TOTAL:
ORDENAR - SEITON		
TODOS LOS MATERIALES Y HERRAMIENTAS SE ENCUENTRAN EN EL LUGAR ASIGNADO		
EL LAYOUT DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO SE ENCUENTRA A LA VISTA Y SE CUMPLE		
LOS LUGARES DE TRABAJO PARA GUARDAR HERRAMIENTAS Y MATERIALES ESTÁN IDENTIFICADOS		
EL STOCK MÁXIMO Y MÍNIMO ESTÁ ESTANDARIZADO		
LOS EMPLEADOS CONOCEN Y CUMPLEN CON EL SISTEMA PARA ESTRUCTURAR SU PUESTO DE TRABAJO		
		TOTAL:
LIMPIAR - SEISO		
EL LUGAR DE TRABAJO ESTÁ LIMPIO Y ORDENADO		
TODAS LAS MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y EQUIPAMIENTO ESTÁN EN USO Y EN BUEN ESTADO		
LOS HORARIOS DE LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO ESTÁN DISPONIBLES Y DOCUMENTADOS		
LOS PRODUCTOS DE LIMPIEZA ESTÁN UBICADOS EN AREAS IDENTIFICABLES Y ACCESIBLES		
LOS EMPLEADOS CONOCEN Y CUMPLEN CON EL SISTEMA PARA SANITIZAR SU ÁREA DE TRABAJO		
		TOTAL:
ESTANDARIZAR - SEIKETSU		
LAS INSTRUCCIONES DE TRABAJO ESTÁN ACTUALIZADAS Y DISPONIBLES EN CADA PUESTO DE TRABAJO		
LAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS QUE NO SE USAN ESTÁN GUARDADOS EN EL LUGAR DESIGNADO		
LOS MATERIALES ESTÁN GUARDADOS EN EL LUGAR DESIGNADO		
EXISTE Y SE APLICA UN SISTEMA ESTÁNDAR PARA SELECCIONAR, ESTRUCTURAR Y SANITIZAR		
EXISTE UN PROCESO DE AUDITORIA PARA VERIFICAR QUE SE CUMPLE CON LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD		
		TOTAL:
DISCIPLINA SHITSUKE		
SE COMUNICA A LOS EMPLEADOS EL RESULTADO DE LAS AUDITORÍAS 5S		
EXISTE UN CRONOGRAMA DE AUDITORÍAS 5S		
EXISTE UN EQUIPO QUE ANALIZA LOS RESULTADOS DE LAS AUDITORÍAS EN BUSCA DE MEJORAS		
LOS EMPLEADOS ESTÁN ENTRENADOS EN LAS ACTIVIDADES QUE REALIZAN Y SE LES EVALÚA REGULARMENTE		
SE CUMPLEN TODAS LAS REGLAS Y PROCEDIMIENTOS DE LA UNIDAD		
		TOTAL:
OBSERVACIONES		

Figura 50. Formato Checklist Área de Trabajo

Aparte 4 - Sección 4 – Conclusiones de la sección 4

Para que la gestión del mantenimiento basada en TPM sea efectiva, es de vital importancia involucrar a todo el personal de la institución, toda vez que la disponibilidad de los equipos parte de un uso responsable de los mismos por parte de los empleados que las utilizan. Es importante, por tanto, implementar medidas que optimicen y mantengan ordenados los espacios de trabajo, registrar las operaciones de mantenimiento para disponer de registros que permitan alimentar indicadores de mantenimiento y planificar las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo bajo las políticas y normas creadas por la filosofía TPM.

REFERENCIAS

- Abreu, J., Ventura, P., Fernandes, S., & Zacarias, M. (2013). Mejora de procesos de negocio en la gestión de mantenimiento: un estudio de caso. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138.
- Barret&Bloom@. (26 de Agosto de 2012). *Taxonomía de la Educación y delos Proyectos empresariales*, Simple. (Bloom Barret y Gagne) Recuperado el 26 de Agosto de 2012, de Barrett, Dr. Frederick C.: <http://www.bnm.me.gov.ar/cgi-bin/wxis.exe/opac/?IsisScript=opac/opac.xis&dbn=BINAM&src=link&tb=tem&query=P LANIFICACION+DE+LA+CLASE>
- Barusso Lafraia , J. R. (2001). *Manual de confiabilidade,Mantenabilidade y disponibilidad*. Qualitymark.
- Crespo Márquez, A. (2007). *The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance*. Londres. Springer Verlag. Sevilla: Springer.
- Electro-Industria "Mantenimiento productivo total TPM". (Recuperado de: 2 de mayo de 2020). *Electro-Industria Soluciones Tecnológicas paa la Minería, Energía e Industria*. Obtenido de Revista Electro Industria: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1520>.
- Fernández, F. J. (2005). *Teoria y practica del mantenimiento industrial avanzado*. Madrid: FC.
- Fitchett , D., & Sondalini, M. (2004). *True Down Time Cost Analysis* (2 ed.).
- FI-UPB. (15 de 3 de 2009). Material de apoyo académico - Fundamentos de Investigación. *Investiogación*, 11. Medellín, Antuioquia, Colombia: UPB Facultad de Diseño.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2002). *Mantenimiento: Función Estratégica*. CIP. Rio de Janeiro, Brasil: Qualitymark.

Leonard, S. C. (1994). *Reliability Methods and Tools for Maintenance*.

Monchy, F. (1989). *Função Manutenção*. Brasília: Duran.

Montilla Montaña, C. A. (2016). *Fundamentos de Mantenimiento Industrial* (Primera ed.).

Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Mora Gutiérrez, A. (1999). *Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión en empresas usuarias o generadoras de tecnologmas avanzadas*. Tesis de doctorado Ph.D. en Ingeniería, Universidad Politécnica de Valencia, Organización de Empresas, Valencia.

Mora Gutierrez, A. (2007a). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios* (Segunda ed.). Envigado: AMG.

Mora Gutierrez, A. (2007b). *Mantenimiento estratégico empresarial*. Medellín: Fondo Editorial Fonefit.

Mora Gutierrez, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control* (Primera ed.). México: Alfaomega.

Mora Gutierrez, A. (2011). *Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control*. (Sexta ed.). Bogotá: AlfaOmega editores Internacional.

Mora Gutierrez, L. A. (2014). *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín: CIMPRO.

Mora, A. -G. (2015). *Mantenimiento Industrial Efectivo* (Edición 2015 ed.). Medellín, Antioquia, Colombia: COLDI LTDA. Recuperado el 17 de Abril de 2018

Nachlas, J. (1995). *Fiabilidad*. Madrid: Icdefe.

Nakajima, S., & otros. (1991). *Introducción al TPM. Programa para el Desarrollo*. (G. Á. Cuesta, Trad.) Madrid: Fundación Repsol Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar.

- Navarro Elola, L., Pastor, A. C., & Tejedor y Mugaburu, J. M. (1997). *Gestión Integral de Mantenimiento*. (M. Boixareu, Ed.) Barcelona: Editores Marcombo Boixareu.
- Palmer, R. D. (1999). *Maintenance Planning and Scheduling*. . New York: McGraw-Hill.
- Pinto, A. K. (1997). *Contratação por Disponibilidade*. Sao Paulo.
- Riis, J. O., Luxhøj, J. T., & Thorsteinsson, U. (1997). A Situational Maintenance Model. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 14(4), 349-366.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode Effect Analysis* (Segunda ed.). Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos de: American Society for Quality. Recuperado el 17 de Abril de 2018
- Vagliasindi , F. (1989). *Gestire la manutenzione. Perche e come*. Milano: Franco Angeli.
- Viveros, P., Stegmaier, R., & Kristjanpolle, F. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y Sus Principales Herramientas de apoyo. *Ingeniare*, 125-138.
- Wireman, T. (1998). *Developing performance indicators for managing maintenance*. New York: Industrial Press.
- Wireman, T. (2001). *Word Class Maintenance Management*. Estados Unidos.
- Yañez Medina, M., Gómez de la Vega , H., & Valbuena Chourio , G. (2004). *Ingeniería de Confiabilidad y Análisis probalístico de Riesgo* (Reliability and Risk Management, S. A ed.).
- Zapata, S. A. (17 de 09 de 2017). *Verbo Bloom & Gagné*, Simple. Recuperado el 17 de 09 de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/59828818/Verbo-Bloom-Gagne>